

KLIMANEUTRALITÄT 2040 FÜR DIE HAMBURGER WIRTSCHAFT



© adobestock.com / saiko3p

© adobestock.com / Astrid Ziemer

HAMBURG 2040
**WIR HANDELN
FÜRS KLIMA.**

Über die OECD

Die Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD) ist eine internationale Organisation und dient als Plattform, auf der sich die Regierungen gemeinsam den wirtschaftlichen, sozialen und ökologischen Herausforderungen der Globalisierung stellen. Die OECD nimmt dabei auch eine Vorreiterrolle ein, wenn es darum geht neue Entwicklungen und Herausforderungen zu verstehen und den Regierungen dabei zu helfen, diese anzugehen, wie z. B. Corporate Governance, Datenökonomie und die Herausforderungen einer alternden Bevölkerung. Die Organisation bietet einen Rahmen, in dem die Regierungen politische Erfahrungen vergleichen, Antworten auf gemeinsame Probleme suchen, bewährte Verfahren ermitteln und an der Koordinierung nationaler und internationaler Maßnahmen arbeiten können.

Über das Zentrum für Unternehmertum, KMU, Regionen und Städte

Das Zentrum unterstützt lokale, regionale und nationale Regierungen und ihre Verwaltungen bei der Erschließung des Potenzials von Unternehmern sowie von kleinen und mittleren Unternehmen und fördert nachhaltige und integrative Regionen und Städte. Darüber hinaus unterstützt es die Schaffung von Arbeitsplätzen vor Ort und die Umsetzung einer tragfähigen Tourismuspolitik.

Die vollständige OECD-Studie und ihre Policy Highlights im Original sind abrufbar unter:

<https://www.oecd.org/publications/reaching-climate-neutrality-for-the-hamburg-economy-by-2040-e1e44672-en.htm>

Die OECD ist der Originalautor dieser Studie.

Diese Übersetzung wurde nicht von der OECD erstellt und gilt nicht als offizielle OECD-Übersetzung. Die Qualität der Übersetzung und ihre Übereinstimmung mit dem Originaltext des Werkes liegen in der alleinigen Verantwortung des Autors/der Autoren der Übersetzung. Im Falle einer Diskrepanz zwischen dem Originalwerk und der Übersetzung gilt nur der Text des Originalwerks als gültig. Die besonderen Bedingungen in Abschnitt I.(d) der Allgemeinen Geschäftsbedingungen stehen einer solchen Übersetzung nicht entgegen. Die für die Übersetzung verantwortliche Einrichtung darf auf der Übersetzung keine Verbindung oder Zugehörigkeit zur OECD angeben oder das Logo, die Marke oder das Titelbild der OECD verwenden.

Dieses Dokument wird unter der Verantwortung des Generalsekretärs der OECD veröffentlicht. Die darin zum Ausdruck gebrachten Meinungen und Argumente spiegeln nicht zwangsläufig die offiziellen Positionen der OECD-Mitgliedsländer wider.

Dieses Dokument sowie alle darin enthaltenen Daten und Karten berühren nicht den Status eines Gebiets oder die Souveränität über ein Gebiet, den Verlauf internationaler Grenzen oder den Namen eines Gebiets, einer Stadt oder einer Region.

© OECD 2024

Vorwort

Die Bewältigung des Klimaproblems erfordert eine wirtschaftliche Transformation von noch nie dagewesenem Ausmaß und Tempo. Doch während das Internationale Aktionsprogramm zum Klimaschutz der OECD (IPAC) 105 Länder mit Kohlenstoffneutralitätszielen, oft bis 2050, registriert hat, sind viele Länder weit davon entfernt, diese Ziele zu erreichen. Tatsächlich bleiben die Klimaschutzmaßnahmen auf globaler Ebene derzeit hinter den Maßnahmen zurück, die erforderlich sind, um die Ziele des Übereinkommens von Paris zu erreichen.

Dieser Bericht zielt darauf ab, die Klimaschutzmaßnahmen zu beschleunigen, um diese Lücke zu schließen. Er hat seinen Ursprung in dem von der Handelskammer Hamburg (HK) für die von ihr vertretenen Unternehmen im Jahr 2021 erklärten Ziel, bis 2040 Klimaneutralität zu erreichen. Das ist 5 Jahre vor den Klimaneutralitätszielen der Stadt Hamburg und Deutschlands und 10 Jahre vor dem Ziel der Europäischen Union. Das HK-Ziel und dieser Bericht, der mit Unterstützung der HK erstellt wurde, zeugen vom Engagement der Hamburger Wirtschaft, mit gutem Beispiel voranzugehen.

Dieser Bericht befasst sich mit den Herausforderungen aus der Perspektive der Wirtschaft und aus der Perspektive der Region.

- Die Unternehmensperspektive bedeutet, konkrete Maßnahmen zu definieren, um die Geschäftsmodelle mit der Klimaneutralität in Einklang zu bringen. Angesichts des ehrgeizigen Klimaziels der HK müssen die Hamburger Unternehmen der politischen Agenda voraus sein, um ihre Geschäftsmodelle auf Klimaneutralität auszurichten, Fehlinvestitionen zu vermeiden und die damit verbundenen Herausforderungen und Chancen zu erkennen.
- Wie dieser Bericht zeigt, ist die Einbettung von Klimaschutzmaßnahmen in den lokalen wirtschaftlichen Kontext wichtig, um Klimaneutralität zu einem wirtschaftlichen Erfolg zu machen. Ein Grund dafür ist, dass individuelle Maßnahmen von Unternehmen nicht ausreichen. Die Unternehmen müssen zusammenarbeiten, oft branchenübergreifend, um lokale Synergien zu schaffen und neue gemeinsame Infrastrukturen und Möglichkeiten der Energieumwandlung und -nutzung besser zu nutzen. In Hamburg bedeutet dies, die Möglichkeiten des drittgrößten Hafens Europas, der ein integraler Bestandteil des Hamburger Ökosystems ist, optimal zu nutzen.

Eine regionale und unternehmerische Perspektive stärkt die politischen Maßnahmen auf nationaler und internationaler Ebene. Dies zieht sich durch alle vier Kapitel des Berichts.

Der Bericht wurde am 17. November 2023 im Ausschuss für regionale Entwicklungspolitik RDPC (Regional Development Policy Committee) diskutiert und am 28. November 2023 vom RDPC im schriftlichen Verfahren genehmigt.

Danksagung

Dieser Bericht wurde vom OECD-Zentrum für Unternehmertum, KMU, Regionen und Städte (CFE) unter der Leitung von Lamia Kamal-Chaoui, Direktorin, als Teil des Arbeitsprogramms des Ausschusses für regionale Entwicklungspolitik (RDPC) erstellt. Er wurde mit finanzieller Unterstützung der Handelskammer Hamburg (HK) erstellt.

Der Bericht wurde koordiniert und mitverfasst von Andrés Fuentes Hutfilter, Referatsleiter, unter der Aufsicht von Rüdiger Ahrend, Leiter der Abteilung Wirtschaftsanalyse, Statistik und Daten des CFE. Weitere Co-Autoren sind Ha-Young Jeon (OECD) und Matteo Schleicher (HK) (Kapitel 1), Caroline Gentet-Raskopf (OECD), Anna Molchanova (HK), Matteo Schleicher und Valentina Ventricelli (OECD) (Kapitel 2), Caroline Gentet-Raskopf, Ronald Halim (Equitable Maritime Consulting), Geneviève McInnes (Beraterin), Anaïs Rault (CFE) und Ha-Young Jeon (Kapitel 3), Ander Eizaguirre (CFE) und Mariam Fofana (CFE) (Kapitel 4). Anna Molchanova und Simone Ruschmann (beide Abteilung für Klimawende, Energie und Industrie, HK) stellten statistische Ressourcen und Beratung zur Verfügung. Der Bericht wurde von Pilar Philip für die Veröffentlichung vorbereitet. Carlos Lerma-Poveda leistete technische und redaktionelle Unterstützung.

Die OECD möchte Malte Heyne, Dirk Lau und Jan-Oliver Siebrand (alle HK) für ihre tatkräftige Unterstützung bei der Erstellung des Berichts sowie für nützliche Kommentare danken.

Die Autoren danken auch Sebastian Averdung (Energiewendebeirat, Hamburg), Stefan Aykut (Universität Hamburg), Lutz Birke (Behörde für Wirtschaft und Innovation, Stadt Hamburg), Claudia Bühler (Michael Otto Stiftung), Henner Buhck (Energie- und Umweltausschuss, HK), Timo Busch (Universität Hamburg), Kai Gerullis (HK), Benno Hain (Behörde für Umwelt, Klima, Energie und Agrarwirtschaft, Stadt Hamburg), Daniela Jacob (Hamburger Klimarat), Heinz Lehmann (Stadtentwicklungsausschuss, HK), Kerstin Kuchta (Technische Universität Hamburg), Marcus Merkenich (Staatskanzlei, Stadt Hamburg) und Kerstin Wendt-Heinrich (Ausschuss für Logistik, Hafen und Schifffahrt, HK). Dem Bericht kamen auch wertvolle Beiträge von Matthias Ederhof (EnergieNetz-Hamburg) und Nick Zippel (Sager & Deus und Opländer Haustechnik) zugute, ebenso wie Beiträge von zahlreichen weiteren Interviewpartnern aus der Hamburger Wirtschaft, der Stadtverwaltung und Forschungseinrichtungen. Die Autoren sind auch Nadim Ahmad, Soo-Jin Kim, Sandrine Kergroach, Oriana Romano (alle OECD/CFE), Peter Levi (Internationale Energieagentur) und anderen Kollegen für ihre Kommentare zu Dank verpflichtet. Das OECD-Sekretariat dankt auch den Delegierten des Ausschusses für regionale Entwicklungspolitik RDPC für ihre wertvollen Kommentare.

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	3
Danksagung	4
Inhaltsverzeichnis	5
Akronyme und Abkürzungen	13
Zusammenfassung	18
Umsetzung der Klimaneutralität für Hamburger Unternehmen	18
Unternehmen müssen ihre Investitionen in die Energieeffizienz jetzt erhöhen	18
Die Dekarbonisierung der Aktivitäten rund um den Hamburger Hafen bietet Chancen über die lokale Wirtschaft hinaus.....	19
Die Kreislaufwirtschaft als Motor für Klimaneutralität	19
1. Klimaneutralität in die Praxis umsetzen	21
Klimaneutralität für Hamburger Unternehmen im nationalen und internationalen Kontext	24
Die Möglichkeiten zur Erreichung der Klimaneutralität in der Hamburger Wirtschaft	26
Die sektorale Struktur der Treibhausgasemissionen in Hamburg	31
Treibhausgasemissionen im verarbeitenden Gewerbe	33
Die Hinzufügung der indirekten Emissionen aus der Energienutzung erhöht die Emissionen des Industrie- und Dienstleistungssektors	35
Die Struktur der Hamburger Wirtschaft nach Sektoren	40
Maßnahmen zur Klimaneutralität in Vergleichsstädten	47
Transport.....	51
Gebäude	52
Verbrauchsbedingte Emissionen	53
Saubere Energie	53
Der Hafen und die Industrie	54
Zusammengefasst: Lehren aus den Vergleichsstädten	57
Die positiven Nebeneffekte des Klimaschutzes optimal nutzen	58
Nutzung der positiven Nebeneffekte verminderter individueller Autonutzung durch Ride-Sharing	60
Elektromobilität macht Straßennutzungsgebühren immer wichtiger	64
Quellenangaben	66
2. Wichtige sektorübergreifende Veränderungen für den Übergang zur Klimaneutralität für Unternehmen	70
Festlegung, Umsetzung und Offenlegung von Netto-Null-Zielen.....	71
Die Mehrheit der Hamburger Unternehmen muss sich noch ein Netto-Null-Ziel setzen	73
Regelungen, die Unternehmen erwarten können	81
Bewertung von Scope-3-Emissionen	82
Wichtige Maßnahmen	88
Netzwerke für KMU, um klimaneutrale Geschäftsmodelle aufzubauen	89
Netzwerke sind ein Schlüsselfaktor für die Dekarbonisierung von KMU	93
Wichtige Maßnahmen	95
Bessere Nutzung kostengünstiger erneuerbarer Energien	95
Es gibt ein Geschäftsszenario für fluktuierende erneuerbare Energien (FEE).....	95
Förderung der Sektorkopplung durch mehr Flexibilität auf dem Strommarkt	99
PV-Solaranlagen auf dem Dach können die Energiekosten senken	101

Stromspeicher können die Flexibilität der Stromnachfrage erhöhen	103
Wichtige Maßnahmen	104
Dekarbonisierung von Gebäuden	105
So können Unternehmen Gebäude dekarbonisieren.....	107
Governance der Dekarbonisierung von Gebäuden: Beispiel Niederlande	110
Fachkräftemangel und Kapazitätsengpässe	110
Finanzierung der Dekarbonisierung von Gebäuden.....	112
Wichtige Maßnahmen	113
Quellenangaben	114
Anhang 2.A. Fragebogen für Hamburger Unternehmen	119
Allgemeine Angaben.....	119
Klimaschutzaktivitäten Ihres Unternehmens	119
3. Klimaneutralität im Güterverkehr und in der Industrie.....	127
Die Auswirkungen der Dekarbonisierung des Seeverkehrs antizipieren	128
Vorbereitung des Hafens auf kohlenstofffreie Kraftstoffe	129
Modellierung der Kostenauswirkungen potenzieller Dekarbonisierungsmaßnahmen	132
Szenarioentwurf.....	132
Methodik	133
Die Auswirkungen potenzieller mittel- und langfristiger Dekarbonisierungsmaßnahmen: Ergebnisse der Modellierung	135
Wichtige Maßnahmen	141
Klimaneutralität in der Transportlogistik und im Transport vom und zum Hafen	141
Hamburgs Wettbewerbsvorteil nutzen: Governance, vertikale Integration und Verflechtungen im Hinterlandtransport und in der Logistik.....	144
Die Verbindung zwischen wachsender Frachtaktivität und CO ₂ -Emissionen aufbrechen	145
Chancen und Hindernisse auf dem Weg zur Klimaneutralität	146
Maßnahmen für die Hamburger Wirtschaft auf dem Weg zur Klimaneutralität	152
Wichtige Maßnahmen	155
Der Übergang zur Klimaneutralität in wichtigen Produktionssektoren	156
Stahlherstellung.....	157
Kupferherstellung.....	161
Dekarbonisierung von Aluminium.....	163
Beschäftigungseffekte der Dekarbonisierung von Grundmetallen	163
Ölraffinerien	164
Wichtige Maßnahmen	166
Das Potenzial für Hamburg als Zentrum für grünen Wasserstoff ist groß.....	167
Hamburg kann dazu beitragen, die Wasserstoffnachfrage über seine Grenzen hinaus zu befriedigen	168
Der meiste Wasserstoff wird importiert werden müssen	169
Die Infrastruktur ist entscheidend für den Import von grünem Wasserstoff und die Schaffung eines Wasserstoff-Hubs	171
Der Hamburger Hafen kann eine Schlüsselrolle beim Import von Wasserstoff spielen	173
Wichtige Maßnahmen	174
Kohlenstoffabscheidung und -speicherung in der Nordsee zur Reduzierung der schwer abbaubaren CO ₂ -Emissionen der Schwerindustrie.....	175
Der Bedarf an CCS ist weit gestreut	176
Die Nordsee scheint ein bevorzugter Standort für CCS zu sein	179

Hohe Kosten und Ungewissheit machen eine größere Rolle Hamburgs bei CCS unwahrscheinlich	180
Wichtige Maßnahmen	183
Quellenangaben	184
Anhang 1.A. Beschreibung der Modelle und weitere Modellierungsergebnisse	192
Die Modelle NavigaTe, IFM und GEM-E3	192
Ein dreistufiger Modellierungsansatz	193
Weitere Modellierungsergebnisse	194
4. Die Kreislaufwirtschaft als Motor für Klimaneutralität	198
Der Übergang zur Kreislaufwirtschaft als Mittel zur Erreichung der Klimaneutralität	198
Überblick über die wichtigsten laufenden und geplanten Initiativen zur Kreislaufwirtschaft in Hamburg	201
Die Rolle des Unternehmenssektors	206
Einführung	206
Haupthindernisse bei der Umsetzung von Geschäftsmodellen mit Kreislaufwirtschaft	214
Wichtige Maßnahmen zur Förderung von Geschäftsmodellen mit Kreislaufwirtschaft in Hamburg	219
Sofortmaßnahmen	219
Bis 2030	221
Quellenangaben	225
Anmerkungen	231

Abbildungen

Abbildung 1.1	Zielvision Hamburg 2040	24
Abbildung 1.2	Der Energieumwandlungssektor ist der größte CO ₂ -Emittent in Hamburg	32
Abbildung 1.3	Erdgas ist die größte Emissionsquelle im Bereich der Unternehmensdienstleistungen	33
Abbildung 1.4	Bei der Produktion von raffinierten Ölprodukten, Stahl und Aluminium fallen bedeutende Emissionen an	34
Abbildung 1.5	Die Industrie ist der zweitgrößte Emittent, wenn man die Emissionen der Energieerzeugung mitzählt	35
Abbildung 1.6	Mehr als die Hälfte der Scope-2-Emissionen des Industriesektors stammen aus der Stromerzeugung	36
Abbildung 1.7	Der Verkehrssektor verbraucht die meiste Energie	38
Abbildung 1.8	Der Straßenverkehr ist der größte Energieverbraucher im Verkehrssektor	38
Abbildung 1.9	Fossile Brennstoffe machen mindestens 40 % des Endenergieverbrauchs in allen Sektoren aus	39
Abbildung 1.10	Endenergieverbrauch des verarbeitenden Gewerbes im Jahr 2021	40
Abbildung 1.11	Erdgas ist eine wesentliche Emissionsquelle in der Metallproduktion	40
Abbildung 1.12	Unternehmensdienstleistungen und das verarbeitende Gewerbe tragen am meisten zur Wertschöpfung des privaten Sektors bei	41

Abbildung 1.13	Informations- und Kommunikationsdienstleistungen, Industrie und Unternehmensdienstleistungen sind Wachstumstreiber	42
Abbildung 1.14	Containerzugverbindungen mit dem Hamburger Hafen	43
Abbildung 1.15	Der Groß- und Einzelhandel ist der größte Arbeitgeber in der Hamburger Wirtschaft	44
Abbildung 1.16	Der Einzelhandel dominiert die Beschäftigung im Handelssektor	45
Abbildung 1.17	Flugzeugbauer beschäftigen die meisten Arbeitnehmer im verarbeitenden Gewerbe	46
Abbildung 1.18	Lagerhaltung und unterstützende Tätigkeiten dominieren die Beschäftigung im Bereich Transportdienstleistungen	47
Abbildung 1.19	Die geschätzten Scope-1-Emissionen in den funktionalen Stadtgebieten von Hamburg und Rotterdam sind ähnlich	50
Abbildung 1.20	Die geschätzten Scope-1-Emissionen pro Kopf in den funktionalen Stadtgebieten von Rotterdam und Hamburg sind höher als in Seattle oder Stockholm, 2018	51
Abbildung 1.21	Die Leistung des öffentlichen Verkehrs ist schwächer als in anderen Metropolregionen	61
Abbildung 2.1	Die größte wahrgenommene Chance der Klimaneutralität ist die Arbeitgeberattraktivität	74
Abbildung 2.2	Die Festlegung von Verantwortlichkeiten auf Managementebene und die Reduzierung des Energieverbrauchs wurden von einer Mehrheit der Befragten umgesetzt	75
Abbildung 2.3	Mittlere Unternehmen, IKT und Finanzunternehmen setzen die ehrgeizigsten Netto-Null-Ziele	76
Abbildung 2.4	Scope-1- und Scope-2-Emissionen sind die am meisten überwachten und offengelegten Schlüsselindikatoren für die Umstellung auf Klimaneutralität	77
Abbildung 2.5	Die meisten Hamburger Unternehmen sehen die unsicheren Aussichten und die Finanzierung von Investitionen als eine Herausforderung beim Übergang zur Klimaneutralität	78
Abbildung 2.6	Die meisten Unternehmen sind der Meinung, dass finanzielle Unterstützung verfügbar ist, aber nicht ausreicht	78
Abbildung 2.7	Scope-3-Emissionen in den Lieferketten von Unternehmen und ihre 15 Kategorien	83
Abbildung 2.8	Entscheidungsbaum für die Auswahl einer Berechnungsmethode für Emissionen aus gekauften Waren und Dienstleistungen	86
Abbildung 2.9	KMU sind hauptsächlich in den Sektoren Handel und Unternehmensdienstleistungen zu finden	90
Abbildung 2.10	Typologie von KMU-Netzwerken	91
Abbildung 2.11	Innovative Unternehmen kooperieren mehr als nicht innovative Unternehmen	93
Abbildung 2.12	Die Kosten der Stromerzeugung sind bei Solar- und Windkraftanlagen am niedrigsten	96
Abbildung 2.13	Der Bedarf an stündlicher Flexibilität steigt bis 2030 in den wichtigsten Märkten deutlich an	97

Abbildung 2.14	Zeitliches Profil der Eigenproduktion/des Eigenverbrauchs mit Solarmodul (PV) und Speicher.....	101
Abbildung 2.15	Die Installation von Öl- und Gaskesseln gefährdet die Klimaneutralitätsziele	106
Abbildung 2.A.16	Die meisten Unternehmen haben sich keine Netto-Null-Ziele gesetzt, weil ihnen die Mittel fehlen	125
Abbildung 2.A.17	Von den Unternehmen, die Netto-Null-Ziele haben, hat die Mehrheit ein Klimaneutralitätsziel bis 2040 oder früher	126
Abbildung 3.1	Geschätzter Kraftstoffmix für die Dekarbonisierung der internationalen Schifffahrt	130
Abbildung 3.2	Methodik-Diagramm	135
Abbildung 3.3	Projizierter Abstieg der Transportkosten für die 3 wichtigsten importierten Waren in Hamburg.....	136
Abbildung 3.4	Projizierter Anstieg der Transportkosten für die 3 wichtigsten exportierten Waren in Hamburg	137
Abbildung 3.5	Projizierte Auswirkungen auf den Importwert der einzelnen Waren in Hamburg	138
Abbildung 3.6	Projizierte Veränderung auf den Exportwert jeder Warenart	139
Abbildung 3.7	Projizierte Veränderungen auf die Importe nach Hamburg aus den 3 wichtigsten Handelsländern.....	140
Abbildung 3.8	Projizierte Veränderungen auf die Ausfuhren aus Hamburg in die 3 wichtigsten Handelsländer.....	140
Abbildung 3.9	Straßengüterverkehr auf den wichtigsten Ten-T-Korridoren (2020)	143
Abbildung 3.10	Hinterlandtransport von Containern aus europäischen Häfen nach Verkehrsträgeranteil	144
Abbildung 3.11	Räumliche Verteilung des Wasserstoffbedarfs für die Dekarbonisierung von Chemikalien und Stahlherstellung.....	169
Abbildung 3.12	Wasserstoff-Ziele von Deutschland	170
Abbildung 3.13	Technisches Potenzial für erneuerbare Elektrizität aus Wind- und Sonnenenergie variiert je nach Region	171
Abbildung 3.14	Wiederverwendete Pipelines können Hamburg bis 2040 an ein europäisches Wasserstoffnetz anbinden	172
Abbildung 3.15	Szenarien für die CO ₂ -Emissionen von Zementwerken in Deutschland im Jahr 2050	178
Abbildung 3.16	Potenzielle Offshore-CCS-Speicherstätten in Kohlenwasserstofffeldern in der Nordsee variieren in ihrer Speicherkapazität.....	180
Abbildung 3.17	Transportkosten für Schiffe und Offshore-Pipelines	181
Abbildung 3.18	Pipelineprojekt zum Transport von CO ₂ zwischen Deutschland und Norwegen.....	183
Abbildung 4.1	Triebkräfte der Kreislaufwirtschaft in den befragten Städten und Regionen	200
Abbildung 4.2	Zeitleiste des rechtlichen Rahmens für nachhaltige Abfallwirtschaft und klimapolitische Richtlinien in Hamburg, Deutschland	202
Abbildung 4.3	Art der Akteure, die an der Entwicklung von Initiativen zur Kreislaufwirtschaft in den befragten Städten und Regionen beteiligt sind	207

Abbildung 4.4	Geschäftsmodelle mit Kreislaufwirtschaft in Hamburg, Deutschland	210
Abbildung 4.5	Hindernisse für Unternehmen, ressourceneffizienter zu werden.....	215
Abbildung 4.6	Haupthindernisse bei der Umsetzung von Geschäftsmodellen mit Kreislaufwirtschaft in Hamburger Unternehmen	216
Abbildung 4.7	Haupthindernisse für die Kreislaufwirtschaft in den befragten Städten und Regionen.....	219
Abbildung 4.8	Governance der Kreislaufwirtschaft in Städten und Regionen: Eine Checkliste für Maßnahmen	223
Abbildung 4.9	Visualisierung der Ergebnisse aus dem Scoreboard für Governance der Kreislaufwirtschaft.....	223
Anhang Abbildung 3.A.1	Auswirkung auf die Import-Transportstückkosten nach Hamburg (%)	194
Anhang Abbildung 3.A.2	Auswirkung auf die Export-Transportstückkosten von Hamburg (%)	195
Anhang Abbildung 3.A.3	Auswirkungen auf den Importwert aus den 22 wichtigsten Ländern nach Hamburg (%).....	195
Anhang Abbildung 3.A.4	Auswirkung auf den Exportwert von Hamburg in die 20 wichtigsten Länder (%).....	196
Anhang Abbildung 3.A.5	Auswirkungen auf den Importwert jeder Warenart nach Hamburg (%)	196
Anhang Abbildung 3.A.6	Auswirkung auf den Exportwert jeder Warenart aus Hamburg (%).....	197
Kästen		
Kasten 1.1	Die Handelskammer Hamburg	23
Kasten 1.2	Drei Bereiche (Scopes) von Treibhausgasemissionen (THG)	27
Kasten 1.3:	Zehn Empfehlungen für Netto-Null-Zusagen von nichtstaatlichen Akteuren durch die Hochrangige Expertengruppe der Vereinten Nationen (UN)	30
Kasten 1.4:	Grundstoffverarbeitende Aktivitäten in Hamburg	34
Kasten 1.5	Hamburger Hafen und damit verbundene Transportdienstleistungen.....	43
Kasten 1.6	Schätzung der regionalen Treibhausgasemissionen	48
Kasten 1.7	Die sechs im Rahmen der Cluster-Energiestrategie (CES) in Rotterdam identifizierten Projekte	55
Kasten 1.8	Positive Nebeneffekte lokaler politischer Maßnahmen zum Klimaschutz	59
Kasten 1.9	Ride-Sharing-Modellierung für Dublin	63
Kasten 1.10	Systeme von Straßennutzungsgebühren.....	65
Kasten 2.1	Leitlinien der Europäischen Kommission zur Offenlegung	72
Kasten 2.2	Scope-3-Emissionen und ihre Kategorien	83
Kasten 2.3	Überblick über sekundäre Datenquellen für die Schätzung von Scope-3-Emissionen	84
Kasten 2.4	Cluster-Netzwerke in Hamburg.....	90

Kasten 2.5	Unternehmensnetzwerke können eine Reihe von Ressourcenbedürfnissen von KMU für den Übergang zur Klimaneutralität bedienen	92
Kasten 2.6	Strom aus fluktuierenden erneuerbaren Energien (FEE) ist billiger als Strom aus fossilen Brennstoffen	96
Kasten 2.7	Programmtypen zum Lastmanagement.....	99
Kasten 2.8	Sager & Deus und Opländer Haustechnik unterstützen Unternehmen bei der Integration von fluktuierenden erneuerbaren Energien (FEE) in ihren Energiemix	102
Kasten 2.9	Bekämpfung des Fachkräftemangels auf lokaler Ebene: Beispiele aus Dänemark und Spanien	112
Kasten 3.1	Die Rolle der Internationalen Seeschiffahrtsorganisation bei der Dekarbonisierung des Seeverkehrs	128
Kasten 3.2	Ammoniak könnte der vielversprechendste emissionsfreie Schiffskraftstoff sein.....	130
Kasten 3.3	Sicherheit von kohlenstofffreien Kraftstoffen: Die Rolle der Arbeitsgruppe für saubere Schiffskraftstoffe	131
Kasten 3.4	Das Business-As-Usual-(BAU-)Szenario	133
Kasten 3.5	Stahlproduktionsmethoden weltweit	158
Kasten 3.6	Stahlunternehmen mit Netto-Null-Zielen und EU-Initiativen	160
Kasten 3.7	Die Dekarbonisierungsstrategie der Aurubis AG in Hamburg.....	162
Kasten 3.8	Dekarbonisierung der Öltraffinerien: das Beispiel von Hywax in Hamburg	165
Kasten 3.9	Das Hamburger Zentrum für grünen Wasserstoff	167
Kasten 3.10	Projekte zur Produktion von grünem Wasserstoff – ausgewählte Beispiele	170
Kasten 3.11	Die 10 Kriterien der IRENA Coalition for Action für Systeme zur Nachverfolgung von grünem Wasserstoff	174
Kasten 3.12	CCS-Projekte der europäischen Nordsee-Anrainerstaaten	176
Kasten 3.13	Aktuelle Offshore-CO ₂ -Pipelinesysteme in Europa, die das Festland mit den Speicherstätten in der Nordsee verbinden	182
Kasten 4.1	Definition der Kreislaufwirtschaft	198
Kasten 4.2	Maßnahmen deutscher Städte für den Übergang zu einer Kreislaufwirtschaft	200
Kasten 4.3	Digitale Materialpässe: Nachverfolgung von Materialien für eine bessere Nutzung	203
Kasten 4.4	Internationale Beispiele von Städten, die Kreislaufwirtschaftsmodelle umsetzen	208
Kasten 4.5	Der Handelsverband Deutschland für einen plastikfreien Einzelhandel	213
Kasten 4.6	Unzureichende Governance für den Übergang zu einer Kreislaufwirtschaft in Städten und Regionen	218
Kasten 4.7	Die OECD-Checkliste für Maßnahmen für Städte und Regionen und das OECD- Scoreboard zur Governance der Kreislaufwirtschaft	222

Tabellen

Tabelle 1.1:	Rechtlich verbindliche Klimaneutralitätsziele in der Region Hamburg, Deutschland und der Europäischen Union	25
Tabelle 1.2:	Emissionserfassung in Hamburg, Deutschland, und EU-Netto-Null-Emissionsziele	26
Tabelle 1.3:	Städte im Vergleich	47
Tabelle 1.4:	Schätzungen der externen Grenzkosten der Autonutzung	59
Tabelle 2.1	Netto-Null-Ziele und Zwischenziele der 8 umsatzstärksten Unternehmen in Hamburg	79
Tabelle 2.2	Berechnungsmethoden und Datenanforderungen für Scope-3-Emissionen von eingekauften Gütern und Dienstleistungen	86
Tabelle 2.3	Top 8 der größten Unternehmen und Scope-3-Emissionen	88
Tabelle 2.4	Die Verbreitung von Solaranlagen auf Dächern ist in Hamburg geringer als in anderen Bundesländern	96
Tabelle 2.5	Frühere OECD-Empfehlungen und ergriffene Maßnahmen zur Schulung, Bildung und Arbeitsmarktpolitik in Deutschland	111
Tabelle 3.1	Durchschnittlicher Anstieg der Importtransportkosten für alle Rohstoffe in Hamburg	136
Tabelle 3.2	Projizierter durchschnittlicher Anstieg der Transportkosten pro Einheit für alle exportierten Waren in Hamburg	137
Tabelle 3.3	Projizierter Gesamtimportwert Hamburgs	138
Tabelle 3.4	Projizierter Gesamtexportwert Hamburgs	138
Tabelle 3.5	Im EU ETS registrierte CO ₂ -Emissionen von Zement und Chemikalien für Hamburg	179
Anhang Tabelle 2.A.1	Teilnahme an der Umfrage	124

Follow OECD Publications on:

http://twitter.com/OECD_Pubs

<http://www.facebook.com/OECDPublications>

<http://www.linkedin.com/groups/OECD-Publications-4645871>

<http://www.youtube.com/oecdilibrary> <http://www.oecd.org/oecddirect>

This book has ...

StatLinks 

A service that delivers Excel® files from the printed page!

Look for the StatLinks at the bottom of the tables or graphs in this book. To download the matching Excel® spreadsheet, just type the link into your Internet browser or click on the link from the digital version.

Akronyme und Abkürzungen

ACEA	Europäischer Verband der Automobilhersteller
ALS	Area Licensing Scheme
B2B	Business-to-Business
BECCS	Bioenergienutzung kombiniert mit Kohlenstoffabscheidung und -speicherung (Bioenergy use combined with carbon capture and storage)
BEV	Batterieelektrische Fahrzeuge (Battery electric vehicles)
BMDV	Bundesministerium für Digitales und Verkehr
BMUV	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz
BMWK	Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz
BNW	Bundesverband Nachhaltige Wirtschaft
BOF	Sauerstoffaufblaskonverter (Linz-Donawitz-Verfahren) (Basic oxygen furnace)
BSW	Behörde für Stadtentwicklung und Wohnen
BUKEA	Behörde für Umwelt, Klima, Energie und Agrarwirtschaft der Freien und Hansestadt Hamburg
CAPEX	Investitionsausgaben
CCS	Kohlenstoffabscheidung und -speicherung (Carbon capture and storage)
CCU	Kohlenstoffabscheidung und -nutzung (Carbon capture and use)
CCUS	Kohlenstoffabscheidung, -nutzung und -speicherung (Carbon capture, use and storage)
CDR	Kohlendioxidabscheidung (Carbon dioxide removal)
CII	Indikator für Kohlenstoffintensität (Carbon intensity indicator)
CMF	Saubere Schiffskraftstoffe (Clean marine fuels)
CO₂	Kohlendioxid
CSRD	Richtlinie zur Nachhaltigkeitsberichterstattung von Unternehmen (Corporate Sustainability Reporting Directive)
DAC	Direkte Luftabscheidung (Direct air capture)
DBU	Deutsche Bundesstiftung Umwelt
DCCAE	Ministerium für Kommunikation, Klimapolitik und Umwelt von Irland
DG-ECFIN	Generaldirektion Wirtschaft und Finanzen der Europäischen Kommission
Difu	Deutsches Institut für Urbanistik

EAA	Europäischer Aluminiumverband
EK	Europäische Kommission
ECI	Europäisches Kupferinstitut
ECJRC	Gemeinsame Forschungsstelle der Europäischen Kommission
EDGAR	Emissionsdatenbank für globale Atmosphärenforschung
EEDI	Energieeffizienz-Design-Index
EEXI	Energieeffizienz-Index für bestehende Schiffe
EIT	Europäisches Institut für Innovation und Technologie
EMC	Equitable Maritime Company
EPA	Irische Umweltschutzbehörde
ESI	Umweltschiff-Index
EU	Europäische Union
EU CBAM	Mechanismus der Europäischen Union zur Anpassung der Kohlenstoffgrenze
EU ETS	Emissionshandelssystem der Europäischen Union
EUR	Euro
EV	Elektrofahrzeug
EWKVerbotsV	Einwegkunststoffverbotsverordnung
FAO	Ernährungs- und Landwirtschaftsorganisation
FUA	Funktionales Stadtgebiet
FCEV	Wasserstoffbetriebene Brennstoffzellen-Elektrofahrzeuge
BIP	Bruttoinlandsprodukt
GFS	Globale Treibstoffstandards (Global Fuels Standards)
THG	Treibhausgas
GLAD	Globaler Zugang zu Umweltbilanz-Daten
GREET	Treibhausgase, regulierte Emissionen und Energieverbrauch im Transportwesen
GT	Gigatonnen
GVC	Globale Wertschöpfungskette
GW	Gigawatt
H₂	Wasserstoff
HK	Handelskammer Hamburg
HDE	Handelsverband Deutschland (Kreislaufwirtschaftsgesetz)

HEI	Hochschuleinrichtung
HiiCCE	Institut für Innovation, Klimaschutz und Kreislaufwirtschaft (Institute for Innovation, Climate Protection, and Circular Economy)
HmbKliSchG	Hamburger Klimaschutzgesetz
HYBRIT	Technologie zur direkten Reduktion bei der Stahlerzeugung (Hydrogen Breakthrough Ironmaking Technology)
ICAO	Internationale Zivilluftfahrt-Organisation
IEA	Internationale Energieagentur
IFB Hamburg	Hamburgische Investitions- und Förderbank
IFM	Internationales Güterverkehrsmodell
IISI	Internationales Institut für Eisen und Stahl
IMO	Internationale Seeschiffahrts-Organisation (International Maritime Organisation)
IMR	Irische Produktionsforschung
IPCC	Zwischenstaatlicher Ausschuss für Klimaänderungen (Intergovernmental Panel on Climate Change)
ISO	Internationale Organisation für Normung (International Organisation for Standardisation)
ISWG GHG	Zwischen den Sitzungen tagende Arbeitsgruppe „Treibhausgasemissionen“ (Intersessional Working Group on GHG Emissions)
ITF	Internationales Verkehrsforum (International Transport Forum)
ITPCO	Internationale Taskforce zur Optimierung von Hafenanläufen (International Taskforce on Port Call Optimization)
IAPH	Internationale Hafenvereinigung (International Association of Ports and Harbours)
IKT	Informations- und Kommunikationstechnologie
IT	Informationstechnologie
KIBS	Wissensintensive Unternehmensdienstleistungen (Knowledge-intensive business services)
KIC KrWG	Wissens- und Innovationsgemeinschaft (Knowledge and Innovation Community) Kreislaufwirtschaftsgesetz
KSO	Klimaschutzoffensive
kWp	Kilowatt-Peak
LDC	Am wenigsten entwickelte Länder (Least Developed Countries)
LED	Licht emittierende Diode

LH₂	Verflüssigter Wasserstoff
LIHH	Logistik-Initiative Hamburg
LPG	Flüssiggas (Liquified Petroleum Gas)
LRT	Light-Rail Transit
LULUCF	Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft (Land use, land-use change and forestry)
MEPC	Ausschuss für den Schutz der Meeresumwelt (Marine Environmental Protection Committee)
MWp	Megawatt-Peak
NEA	Nuklearenergieamt
NEW 4.0	Norddeutsche Initiative zur Energiewende
NH₃	Ammoniak
NOW	Nationale Online-Weiterbildungsplattform
NO_x	Stickstoffmonoxid
NZT	Netto-Null-Ziel (Net-zero target)
OPEX	Betriebskosten
OVAM	Flämisches Amt für Abfallwirtschaft
P2P	Peer-to-Peer
PAW	Programm für erdgasfreie Nachbarschaft
PM	Feinstaub (Particulate matter)
PPP	Öffentlich-private Partnerschaft (Public-private Partnership)
PRI	Öffentliche Forschungsinstitute (Public Research Institutions)
PV	Photovoltaik
F&E	Forschung und Entwicklung
RCP	Repräsentativer Konzentrationspfad
RECE-XG	Expertengruppe für eine neue Generation von Informationen für eine ressourceneffiziente und kreislauforientierte Wirtschaft (Expert Group on a new generation of information for a resource-efficient and circular economy)
RISN	Netzwerk für Ressourceninnovation und -lösungen (Resource Innovation and Solutions Network)
SAN	Styrol-Acrylnitril
SBTi	Wissenschaftsbasierte Zielinitiative (Science-Based Target initiative)
SDG	Ziel für nachhaltige Entwicklung (Sustainable Development Goal)

SEAI	Behörde für nachhaltige Energie in Irland
SEK	Schwedische Krone
KMU	Kleine und mittlere Unternehmen
SPW	Wallonischer öffentlicher Dienst
SRH	Stadtreinigung Hamburg
SSP	Gemeinsamer sozioökonomischer Weg (Shared Socio-Economic Pathway)
TCFD	Task Force für klimabezogene Finanzinformationen (Task Force on Climate-Related Financial Disclosures)
TUHH	Technische Universität Hamburg
TWh	Terawattstunde
VAE	Vereinigte Arabische Emirate
UaW	Vereinigung United Against Waste
UfR	Unternehmen für Ressourcenschutz
GB	Großbritannien
UN	Vereinte Nationen
UNECE	Wirtschaftskommission der Vereinten Nationen für Europa (United Nations Economic Commission for Europe)
USA	Vereinigte Staaten von Amerika
USD	US-Dollar
VC	Risikokapitalgeber (Venture capitalist)
VerpackG	Verpackungsgesetz
FEE	Fluktuierende erneuerbare Energien (von Englisch: Variable renewable energy)
WHO	Weltgesundheitsorganisation
WTW	Well-to-Wake (wörtlich: „von Energiequelle bis Kielwasser“)

Zusammenfassung

Mit der Entscheidung der Handelskammer Hamburg (HK), bis 2040 die Klimaneutralität zu erreichen, hat sich die Hamburger Wirtschaft entschlossen, die Herausforderung des Klimawandels frontal anzugehen, nicht zuletzt, weil zukunftssichere Geschäftspläne und Investitionen, die mit der Klimaneutralität in Einklang stehen, helfen werden, Chancen zu nutzen und erhebliche Kosten zu sparen. Dieser Bericht zeigt, was das Erreichen der Klimaneutralität für Hamburger Unternehmen bedeutet und welche wichtigen Maßnahmen sie ergreifen müssen.

Umsetzung der Klimaneutralität für Hamburger Unternehmen

Um das Klimaneutralitätsziel für 2040 zu erreichen, müssen die direkten (Scope 1) und indirekten (Scope 2) Emissionen der Hamburger Unternehmen aus der Nutzung von Strom und Wärme in Hamburg Netto-Null betragen. Indirekte Emissionen, die in der gesamten Wertschöpfungskette entstehen (Scope 3), könnten zwar zu einem späteren Zeitpunkt nach wissenschaftlich fundierten Emissionsreduktions-szenarien im Einklang mit dem Übereinkommen von Paris Netto-Null erreichen, aber die Unternehmen müssen auch diese berücksichtigen, um die Klimaneutralität zu erzielen.

Mit einem Anteil von fast 50 % an der Hamburger Wirtschaftstätigkeit tragen auch Hamburgs kleine und mittlere Unternehmen (KMU) wesentlich zu den Treibhausgasemissionen Hamburgs bei. Im Vergleich zu größeren Unternehmen fehlt es ihnen jedoch oft an den Ressourcen, um die für die Klimaneutralität erforderlichen Transformationen vorzunehmen und auch zu meistern. Die Finanzierung ist ein zentrales Hindernis auf dem Weg der KMU zur Dekarbonisierung. Netzwerke können bei der Überwindung dieses Hindernisses eine entscheidende Rolle spielen, indem sie beispielsweise KMU mit spezialisierten Investoren zusammenbringen. Die Offenlegung von Netto-Null-Zielen, Maßnahmenplänen und Fortschrittsberichten kann Unternehmen auch dabei helfen, darzulegen, dass sie auf dem richtigen Weg sind, und den Zugang zu grünen Finanzierungen und Finanzierungen von Banken zu sichern, die daran interessiert sind, ihre eigenen Netto-Null-Ziele zu erreichen, während sie gleichzeitig das Potenzial zur Integration in die Wertschöpfungsketten größerer Unternehmen erhöhen. Die Nutzung von Unternehmensnetzwerken, um Ressourcen zu bündeln und den Zugang zu benötigtem Wissen und Technologien für klimaneutrale Geschäftsmodelle zu verbessern, sind ebenfalls wichtige und kostensparende Instrumente.

Unternehmen müssen ihre Investitionen in die Energieeffizienz jetzt erhöhen

In gewerblichen Gebäuden werden Wärmepumpen sicherlich zur wichtigsten Wärmequelle werden, wenn keine Fernwärme verfügbar ist. Da die Lebensdauer von Heizkesseln für fossile Brennstoffe in der Regel etwa 20–30 Jahre beträgt, sind Investitionen in neue Heizkessel für fossile Brennstoffe nicht mit dem Hamburger Klimaneutralitätsziel für 2040 vereinbar oder laufen Gefahr, zu kurz zu kommen. Gleichzeitig müssen die Unternehmen ihre Gebäude dekarbonisieren und die Energieeffizienz verbessern. Wenn die Unternehmen jetzt handeln, um die Ziele für 2040 zu erreichen, und sich auf strengere Vorschriften einstellen, können sie vermeiden, dass sich die Nachfrage bei erforderlichen Bautätigkeiten aufstaut, was mutmaßlich den Fachkräftemangel verschärfen und die Kosten in die Höhe treiben würde. Die Beschleunigung der Ausbildung von Fachkräften, insbesondere im Zusammenhang mit der Installation von Photovoltaikanlagen, Wärmepumpen und der energetischen Sanierung, kann ebenfalls dazu beitragen, Engpässe auf der Angebotsseite zu beseitigen. Unterstützungsprogramme sollten

sicherstellen, dass alle Unternehmen, insbesondere KMU, in der Lage sind, sich an die neuen Vorschriften anzupassen und diese zu erfüllen. Bei neuen Vorschriften muss auch darauf geachtet werden, dass KMU keine zu sehr belastenden Berichterstattungspflichten auferlegt bekommen, vor allem auch jenen, die in der Praxis die Vorschriften möglicherweise bereits vollständig einhalten.

Kostengünstige erneuerbare Energien, insbesondere Solar- und Windenergie, bieten den Unternehmen die Möglichkeit, ihre Energiekosten zu senken. Um den Anteil der erneuerbaren Energien an ihrem Energiemix zu erhöhen, sollten Unternehmen ihren Strombedarf an das Zeitprofil der erneuerbaren Energien anpassen und gleichzeitig den Großteil ihres Energieverbrauchs elektrifizieren. Die Unternehmen sollten in intelligente Energiespeichersysteme und Instrumente zur Steuerung der Stromnachfrage investieren und zusammenarbeiten, um die entsprechende Infrastruktur gemeinsam zu nutzen. Sie sollten sich für eine zeitlich und räumlich flexible Preisgestaltung einsetzen. Auch ohne eine solche Preisgestaltung ist der massive Ausbau von Photovoltaikanlagen auf Dächern, die die Eigenproduktion und den Eigenverbrauch von Energie ermöglichen, in Hamburg bereits rentabel.

Die Dekarbonisierung der Aktivitäten rund um den Hamburger Hafen bietet Chancen über die lokale Wirtschaft hinaus

Der Hamburger Hafen hat mit der Elektrifizierung des Hafenbetriebs und der Entwicklung einer emissionsfreien Treibstoffinfrastruktur für Schiffe bereits eine führende Rolle übernommen. Hamburg kann sich bis 2040 als klimaneutraler Verkehrsknotenpunkt positionieren und damit Unternehmen in ganz West- und Mitteleuropa unterstützen. Hamburg zeichnet sich durch den hohen Anteil der Schiene am Frachtverkehr vom und zum Hafen aus. Dies verschafft Hamburg einen Wettbewerbsvorteil bei der schnellen und kostengünstigen Bereitstellung emissionsfreier Langstreckenfracht. Bei den übrigen Fahrten erreichen Elektro-Lkw schnell Kostengleichheit mit Dieselfahrzeugen, was einen schnellen Anstieg der Investitionen in solche Lkw und eine umfangreiche Ladeinfrastruktur erfordert.

Als wichtiger europäischer Industriehafen könnte Hamburg zu einem bedeutenden Wasserstoff-Hub werden, der sowohl den eigenen hohen lokalen Bedarf als auch den der Nachbarregionen deckt. Der Ausbau der Infrastruktur für den Transport, die Speicherung und Verarbeitung von Wasserstoff kann Kosten senken. Hamburg hat wichtige Schritte in diese Richtung unternommen. Grünes Ammoniak, das aus grünem Wasserstoff hergestellt wird, kann ebenfalls eine wichtige Rolle bei der Bereitstellung eines kosteneffizienten, emissionsfreien Kraftstoffmixes spielen und damit langfristig steigende Transportkosten vermeiden, auch für die Handelsströme durch den Hamburger Hafen. Dies erfordert in naher Zukunft entsprechende Umstellungsinvestitionen in Schiffe und Infrastruktur.

Der Hamburger Hafen ist auch Standort wichtiger Grundmetallverarbeitungs- und Ölraffinerien. Die Investitionen in industrielle Produktionsanlagen müssen ab 2025 Netto-Null-Kompatibilität aufweisen, um verlorene Investitionen zu vermeiden. Energiesparende Anlagen, Zugang zu wettbewerbsfähigem Strom und Wasserstoff sind dafür der Schlüssel. Auch neue digitale Technologien, wie kostengünstige Sensoren oder die Nachverfolgung der Materialzusammensetzung in Echtzeit, können die notwendige Transformation hin zu einer Kreislaufwirtschaft unterstützen. Die daraus resultierende Verringerung des Rohstoffeinsatzes ist für klimaneutrale Wertschöpfungsketten unerlässlich. Der Standort des Hafens kann Chancen für Geschäftsmodelle für den Handel mit und die Umwandlung von Altmaterialien bieten.

Die Kreislaufwirtschaft als Motor für Klimaneutralität

Manche Hamburger Unternehmen haben Kreislaufwirtschafts-Geschäftsmodelle entwickelt, die auf Recycling und der Wiederverwendung von Produkten basieren, und bieten Wartungs-, Reparatur- und

Sanierungsdienste an. Kreislaufmodelle spielen bisher jedoch nur eine untergeordnete Rolle. Mehrere Hindernisse stehen einer effektiven Umsetzung im Wege: Die Unternehmen sind sich der Vorteile der Kreislaufwirtschaft nicht ausreichend bewusst und es fehlt an finanziellen Anreizen, während das Regulierungsumfeld noch nicht förderlich für innovative Kreislaufmodelle ist. Die HK könnte das Bewusstsein für die Prinzipien der Kreislaufwirtschaft schärfen und Geschäftsmodelle mit Kreislaufwirtschaft fördern, um Produktions- und Verbrauchspraktiken klimaneutral zu stellen. Der Aufbau von Kapazitäten, einschließlich Schulungsprogrammen für die Wirtschaft, könnte nachhaltige Geschäftsmöglichkeiten eröffnen. Die HK könnte mit der Stadt zusammenarbeiten, um Marktinnovation durch die Schaffung von Inkubatoren, Hubs und Experimentierräumen zu unterstützen.

1. Klimaneutralität in die Praxis umsetzen

Kapitel 1 zielt darauf ab, Wege aufzuzeigen, wie das Netto-Null-Ziel der Handelskammer Hamburg für 2040 in die Praxis umgesetzt werden kann. In diesem Kapitel wird zunächst dargelegt, was Klimaneutralität für Hamburger Unternehmen bedeutet. Dabei wird der nationale und regionale Kontext von Klimazielen dargestellt und auf internationale Empfehlungen bewährter Praktiken zurückgegriffen. Das Kapitel untersucht die verfügbaren Daten über Treibhausgasemissionen, Energieverbrauch und die sektorale Zusammensetzung der Hamburger Wirtschaft. Die Netto-Null-Ziele und Maßnahmenpläne anderer industrieller Hafenstädte – Rotterdam, Stockholm und Seattle – mit ähnlichen Herausforderungen bei der Dekarbonisierung bieten wertvolle Einblicke, um Hindernisse und Chancen beim Übergang zur Klimaneutralität zu identifizieren. Und schließlich hebt das Kapitel die potenziellen positiven Nebeneffekte lokaler Klimaschutzmaßnahmen für Wohlstand und Wettbewerbsfähigkeit hervor, die höher sein können als die Transitionskosten. Es zeigt, wie schnelle Fortschritte bei der Dekarbonisierung des städtischen Fahrgastverkehrs solche Vorteile bringen können.

Die Handelskammer Hamburg (HK, Kasten 1.1) hat sich zum Ziel gesetzt, für ihre Mitgliedsunternehmen bis 2040 Klimaneutralität zu erreichen. Dieser Bericht zielt darauf ab, die wichtigsten Maßnahmen zu identifizieren, die die Unternehmen in Hamburg ergreifen müssen, sowie die wichtigsten Herausforderungen, denen sie sich stellen müssen, um Geschäftsmodelle zu entwickeln, die mit diesem Ziel der Klimaneutralität vereinbar sind. Wie in dem Bericht hervorgehoben wird, ist es für die Bewältigung der Herausforderungen und Chancen von entscheidender Bedeutung, die Transformation auf den spezifischen regionalen Wirtschaftskontext zu stützen, wobei es erforderlich ist, dass die Unternehmen zusammenarbeiten. In diesem Bericht wird argumentiert, dass Unternehmen politische Maßnahmen antizipieren sollten, um besser auf die großen Umwälzungen vorbereitet zu sein, unnötige Kosten zu sparen und besser in der Lage zu sein, Herausforderungen zu bewältigen und Chancen zu ergreifen. Er richtet sich zwar nicht an die Politik, aber es werden Hinweise darauf gegeben, wie politische Maßnahmen die Hamburger Wirtschaft dabei unterstützen können, ihre Herausforderungen bestmöglich zu bewältigen und Chancen zu nutzen.

Dieses Kapitel beginnt mit der Umsetzung des Ziels für die Wirtschaft. Im ersten Abschnitt wird erörtert, wie die Unternehmen das Ziel interpretieren sollten. Es muss mit den nationalen und internationalen Zielen übereinstimmen, die zu gegebener Zeit für Hamburger Unternehmen bindend sein werden, insbesondere mit den Klimaneutralitätszielen in der EU, Deutschland und Hamburg.

Der zweite Abschnitt bietet einen Überblick über die verfügbaren Daten zu Hamburgs Treibhausgasemissionen (THG) und wirtschaftlichen Aktivitäten sowie deren sektorale Zusammensetzung und legt dar, wie die Wirtschaftssektoren der Stadt betroffen sein werden.

Der dritte Abschnitt bietet einen Überblick über die Klimaziele und Maßnahmenpläne in drei ausgewählten, vergleichbaren Städten in Europa und Nordamerika, nämlich Rotterdam, Stockholm und Seattle. Diese Städte haben ähnliche Klimaziele und stehen vor ähnlichen Herausforderungen. Unternehmen in Hamburg können von den Klimaschutzmaßnahmen dieser Städte lernen. Ihre Unternehmen können mit den Hamburger Unternehmen zusammenarbeiten, um ihre Klimaziele zu erreichen. Diese Städte sind auch Konkurrenten: Unternehmen in Hamburg müssen sicherstellen, dass sie bei der Identifizierung von Chancen und Herausforderungen nicht ins Hintertreffen geraten.

Klimamaßnahmen können wichtige positive Nebeneffekte auf das Wohlbefinden haben, z. B. eine geringere Luftverschmutzung oder weniger Verkehrsstaus. Positive Nebeneffekte kommen schneller zustande als Klimavorteile. Sie überwiegen oft gegenüber den lokalen Kosten der Klimaschutzmaßnahmen. Da viele dieser positiven Nebeneffekte auf lokaler Ebene entstehen und lokale Maßnahmen erfordern, können sie dazu beitragen, Regionen attraktiver und wettbewerbsfähiger zu machen, und ein starker Motivator für lokale Klimaschutzmaßnahmen sein. Dieses Thema wird im letzten Abschnitt dieses Kapitels aufgegriffen und am Beispiel des städtischen Fahrgastverkehrs veranschaulicht.

Für die Zwecke dieses Berichts werden die Ziele der Klimaneutralität und des Erreichens von Netto-Null-Treibhausgasemissionen im Allgemeinen miteinander austauschbar verwendet. Der größte Teil der globalen Erwärmung wird durch Emissionen langlebiger Treibhausgase, insbesondere CO₂, verursacht. Diese müssen auf Null reduziert werden, um die globale Erwärmung zu stoppen, da ihre Kumulierung in der Atmosphäre für die globale Erwärmung ausschlaggebend ist. Die Emissionen kurzlebiger Gase, insbesondere Methan, müssen zwar nicht auf Null gebracht, aber bis 2050 weltweit halbiert werden, um die globale Erwärmung auf 1,5 Grad zu begrenzen (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2018[1]). Das Hamburger Territorium erzeugt nur wenig Methanemissionen. Dennoch spielt Methan in den Wertschöpfungsketten mancher Hamburger Unternehmen eine wichtige Rolle.

Die Kosten für das Erreichen von Netto-Null-Treibhausgasemissionen bis 2050 in Ländern mit hohem Einkommen und bescheidener Förderung und Verarbeitung fossiler Brennstoffe können sich auf bis zu 1–2 % des BIP belaufen (UK Committee on Climate Change, 2019[2]). Die Kosten konzentrieren sich auf die letzten 10–20 % der Emissionsminderung. Die Kosten beziehen sich auf die Nettoressourcen, die für den Übergang aufzuwenden sind, einschließlich der Investitionen (European Commission, 2018[3]; OECD, 2017[4]). Die Auswirkungen der Kosten auf die Wettbewerbsfähigkeit von Sektoren, die dem internationalen Wettbewerb ausgesetzt sind, hängen davon ab, wer sie trägt. Solche sektoralen Auswirkungen auf die Wettbewerbsfähigkeit können besonders relevant sein, wenn politische Maßnahmen für den Klimaschutz in den einzelnen Ländern oder Regionen mit ungleicher Geschwindigkeit umgesetzt werden. Wenn beispielsweise die Steuerzahler die Ressourcenkosten übernehmen, kann die Wettbewerbsfähigkeit in Sektoren, die dem internationalen Wettbewerb unterliegen, weitgehend erhalten bleiben, und die Ressourcen müssten nicht in andere Sektoren oder Regionen umverteilt werden. Wenn es zu einer solchen Umverteilung kommt, könnte dies weitere Auswirkungen auf die Verteilung der Wirtschaftstätigkeit in den Regionen haben.

Frühzeitiges Handeln ist wichtig für das Klima, aber auch, um unnötige wirtschaftliche Kosten durch verzögertes Handeln zu vermeiden. Diese können sehr hoch sein. Die Kosten einer Verzögerung von Maßnahmen zur Reduzierung von Treibhausgasen, um das Ziel von 1,5 °C zu erreichen, könnten sich weltweit auf 5 Billionen USD pro Jahr oder 7 % des jährlichen weltweiten BIP belaufen (Sanderson and O'Neill, 2020[5]). Für Deutschland wurden die zusätzlichen Nettokosten für den Klimaschutz auf durchschnittlich 40 % pro Jahrzehnt Verzögerung geschätzt (Council of Economic Advisers, 2014[6]). Eine wichtige Quelle zusätzlicher Kosten durch verzögerte Maßnahmen sind Investitionsentscheidungen, insbesondere für langlebige Investitionsgüter, die mit den Klimazielen unvereinbar sind und daher vor ihrem wirtschaftlichen Lebensende abgeschrieben werden müssen („verlorene Investitionen“). Diese Risiken sind besonders groß bei kapital- und energieintensiven Aktivitäten, wie im verarbeitenden Gewerbe (OECD, 2017[4]; OECD, 2023[7]). Weitere Kosten durch verzögerte Maßnahmen ergeben sich aus höheren Anpassungs- und Koordinierungskosten. Höhere Kosten entstehen, weil spätere Senkungen eine schnellere Verbreitung neuer Technologien erfordern, was die Anfälligkeit für Fehler erhöht (Chapman, 2019[8]).

Kasten 1.1 Die Handelskammer Hamburg

Die Handelskammer Hamburg (HK) hat etwa 170.000 im Bundesland Hamburg registrierte Mitgliedsunternehmen. Sie ist eine der größten Industrie- und Handelskammern in Deutschland. Aus historischen Gründen heißt sie lediglich „Handelskammer“. Sie ist die repräsentative Organisation der Hamburger Unternehmen und fungiert als politischer Lobbyist, Vermittler und Fürsprecher für die lokale Wirtschaft. In Deutschland sind alle Unternehmen gesetzlich verpflichtet, Mitglied in einer lokalen Industrie- und Handelskammer zu sein. Die HK basiert auf der Beteiligung und dem Engagement von Unternehmern in der Region und agiert autonom und eigenverantwortlich als Organisation. Der Grund für die obligatorische Mitgliedschaft von Unternehmen in der HK liegt in der Notwendigkeit und dem Wunsch von Regierungen, Parlamenten und Verwaltungen, eine zentrale Anlaufstelle für die lokale Wirtschaft zu haben.

Als Lobbyist setzt sich die HK für ein marktorientiertes rechtliches und regulatorisches Umfeld ein, das den Geschäften kleiner und mittlerer Unternehmen förderlich ist. Industrie- und Handelskammern werden von gewählten Unternehmern und Managern geleitet und von ihren eigenen angestellten Mitarbeitern unterstützt. Das Ziel dieser gemeinsamen Teams aus gewählten Wirtschaftsvertretern und Kammermanagement ist es, im Gesamtinteresse der lokalen Wirtschaft Empfehlungen zu politischen Maßnahmen zu geben.

Als unabhängiger Vermittler unterstützt die HK faire Geschäftspraktiken, indem sie eine Reihe von Streitschlichtungs- und Präventionsdiensten anbietet. Die HK fungiert auch als Dienstleister für die Geschäftswelt, indem sie neuen und etablierten Firmen am Markt nicht verfügbare Dienstleistungen anbietet.

Der Geschäftsumfang der HK deckt ein breites Spektrum an Dienstleistungssektoren ab, wie z. B. Einzelhandel, Information und Kommunikation, Immobilien- und Wohnungswesen, Finanzdienstleistungen und Transport. Sie umfasst auch bedeutende Industrieunternehmen. Hamburg ist der drittgrößte zivile Luftfahrtstandort der Welt und verfügt über einen äußerst vielfältigen Industriesektor – es gibt nur wenige Orte in Europa mit einer derartigen Konzentration an Fertigungsindustrie. Manche wirtschaftlichen Tätigkeiten, im Handwerk und bei den freien Berufen, werden von branchenspezifischen Kammern abgedeckt und sind daher nicht in der Handelskammer enthalten.

Im Jahr 2020 hat die HK die Zielvision „Hamburg 2040“ ins Leben gerufen und damit das Ziel, den Hamburger Wirtschaftssektor bis 2040 klimaneutral zu stellen. Die HK hat einen weitreichenden Dialog über die Frage „Wie wollen wir künftig leben – und wovon?“ initiiert.

Abbildung 1.1 Zielvision Hamburg 2040



Klimaneutralität für Hamburger Unternehmen im nationalen und internationalen Kontext

Die Hamburger Wirtschaft muss dazu beitragen, die Emissionsziele für Netto-Null-Treibhausgase in der Europäischen Union (EU), in Deutschland und in Hamburg zu erreichen. Alle drei Rechtsordnungen haben sich Ziele gesetzt, die rechtskräftig sind. Die Rechtskraft klimapolitischer Maßnahmen wird zunehmend in Gerichtsentscheidungen in Deutschland und anderswo berücksichtigt. Die Erfüllung des Klimaneutralitätsziels der HK sollte daher den Hamburger Unternehmen dabei helfen, diese rechtlich verankerten Emissionsziele in Bezug auf Ambition und Umfang zu erreichen. Dabei ist auch die starke Einbindung Hamburgs in die Weltwirtschaft zu berücksichtigen.

Das Klimaneutralitätsziel der HK ist zeitlich etwas ehrgeiziger als die Ziele der Region, Deutschlands und der Europäischen Union (EU). Zwischenziele sind wichtig, um frühzeitiges Handeln zu gewährleisten und damit den Klimaneutralitätszielen Glaubwürdigkeit zu verleihen. Deutschland und die EU teilen ein mittelfristiges Ziel mit der Hamburger Landesregierung: die Treibhausgasemissionen bis 2030 um mindestens 60 % gegenüber 1990 zu reduzieren. Der Hamburger Senat strebt an, die CO₂-Emissionen bis 2030 um 70 % gegenüber dem Stand von 1990 zu senken. Die HK hat kein Zwischenziel für ihre Unternehmen festgelegt, weder insgesamt noch sektoral. Hamburg und Deutschland haben sektorale Dekarbonisierungsziele mit entsprechenden Maßnahmenplänen, um diese zu erreichen, wenngleich sie unterschiedliche Kategorien von Sektoren haben. Es wird erwartet, dass die Energieversorgung und die Gebäude bis 2030 im Vergleich zu 1990 am schnellsten dekarbonisiert werden (Tabelle 1.1). Die Hamburger Unternehmen müssen bei der Transformation zur Klimaneutralität eine Vorreiterrolle übernehmen – wohl wissend, dass die Klimaschutzmaßnahmen derzeit noch weit hinterherhinken. Sie sollten die Transformation schneller vollziehen als andere Sektoren, wie zum Beispiel die privaten Haushalte in Hamburg, und auch schneller als andere Unternehmen in Deutschland und der EU. Die Hamburger Hafenbehörde hat sich bereits das Ziel der Klimaneutralität für den Hafenbetrieb im Jahr 2040 gesetzt.

Tabelle 1.1: Rechtlich verbindliche Klimaneutralitätsziele in der Region Hamburg, Deutschland und der Europäischen Union

	Hamburg	Deutschland	Europäische Union
Allgemeine Ziele			
Endgültiges Ziel	<ul style="list-style-type: none"> • 98 % Senkung der CO₂-Emissionen bis 2045 (Netto-CO₂-Emissionen mit Kohlenstoffsinken) 	<ul style="list-style-type: none"> • Netto-Null-Treibhausgasemissionen bis 2045 und Netto-Negativ nach 2050 	<ul style="list-style-type: none"> • Netto-Null-Treibhausgasemissionen bis 2050
Zwischenziele	<ul style="list-style-type: none"> • 70 % Senkung der CO₂-Emissionen bis 2030 unter das Niveau von 1990 	<ul style="list-style-type: none"> • 55–65 % Senkung der nationalen Treibhausgasemissionen (THG) bis 2030 unter das Niveau von 1990, ohne Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft (LULUCF) • 88 % Senkung der nationalen THG-Emissionen unter das Niveau von 1990 bis 2040, ohne Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft (LULUCF) 	<ul style="list-style-type: none"> • Mindestens 55 % Senkung der inländischen Netto-Treibhausgasemissionen (THG) in der gesamten Wirtschaft bis 2030 unter das Niveau von 1990
Sektorspezifische Ziele			
Energieversorgung	Kein Ziel	61–62 % Senkung der CO ₂ -Emissionen unter das Niveau von 1990 bis 2030	Nicht verfügbar
Industrie	73 % Senkung der CO ₂ -Emissionen unter das Niveau von 1990 bis 2030 und -99 % bis 2045	49–51 % Senkung der CO ₂ -Emissionen unter das Niveau von 1990 bis 2030	Nicht verfügbar
Gebäude	68 % Senkung der CO ₂ -Emissionen unter das Niveau von 1990 bis 2030 und -94 % bis 2045 (für Wohngebäude)	66–67 % Senkung der CO ₂ -Emissionen unter das Niveau von 1990 bis 2030 (für alle Gebäude)	Nicht verfügbar
Handel, Gewerbe, Dienstleistungen und Nichtwohngebäude	75 % Senkung der CO ₂ -Emissionen unter das Niveau von 1990 bis 2030 und -99 % bis 2045	Nicht verfügbar	Nicht verfügbar
Transport	53 % Senkung der CO ₂ -Emissionen unter das Niveau von 1990 bis 2030 und -100 % bis 2045	40–42 % Senkung der CO ₂ -Emissionen unter das Niveau von 1990 bis 2030	90 % Senkung der CO ₂ -Emissionen unter das Niveau von 1990 bis 2050
Landwirtschaft	Kein Ziel	41–43 % Senkung der CO ₂ -Emissionen unter das Niveau von 1990 bis 2030	Nicht verfügbar
Andere	Nicht verfügbar	87 % Senkung der CO ₂ -Emissionen unter das Niveau von 1990 bis 2030	Nicht verfügbar

Quelle: (Hamburger Senat, 2022[10]); (Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation, Nuclear Safety and Consumer Protection of Germany, 2016[11]); Europäisches Klimagesetz (Artikel 2(1); Artikel 4(1)); (European Commission, 2022[12]).

Die Möglichkeiten zur Erreichung der Klimaneutralität in der Hamburger Wirtschaft

Die Emissionsabdeckung der EU-Ziele und der deutschen Ziele liefert wichtige Informationen darüber, welche Emissionen das Ziel der Klimaneutralität für die Hamburger Wirtschaft umfassen sollte. Sowohl die EU als auch Deutschland definieren die Emissionsziele in Bezug auf die Scope-1-Emissionen (Kasten 1.2). Diese umfassen alle direkten Treibhausgasemissionen, die innerhalb ihrer geografischen Grenzen entstehen. Das Ziel der Region Hamburg umfasst die Emissionen aus der Endnutzung von Energie, einschließlich der Scope-1- und Scope-2-Emissionen. Nicht enthalten sind Emissionen aus der Energieumwandlung auf Hamburger Gebiet, insbesondere aus der Stromerzeugung und von Ölraffinerien. In Übereinstimmung mit diesem Ansatz werden die lokalen Emissionen aus der Wärme- und Stromerzeugung den Endverbrauchern zugerechnet, auch wenn Strom und Wärme außerhalb der Stadtgrenzen erzeugt werden.

Tabelle 1.2: Emissionserfassung in Hamburg, Deutschland, und EU-Netto-Null-Emissionsziele

	Hamburg	Deutschland	Europäische Union
Umfang der Emissionen	Scope-1- und Scope-2-CO₂-Emissionen aus der Energie- nutzung in den Endver- brauchssektoren , wobei Scope-2-Emissionen Emissio- nen von Ölraffinerien enthal- ten. Die übrigen Treibhaus- gasemissionen (CO ₂ -Emissio- nen aus Verarbeitungsprozes- sen, Methan, Distickstoffmo- noxid und Fluorgase) sollen ebenfalls reduziert werden.	Produktionsbedingte Emissio- nen (Scope 1)	Produktionsbedingte Emissio- nen (Scope 1)
Abhängigkeit von inter- nationalen Ausgleichs- maßnahmen	Nicht im Emissionsreduktions- ziel erwähnt.	Erwähnung im Bundesklima- gesetz, ohne dass ein spezifi- scher Plan angekündigt wurde.	Ausgenommen vom Ziel der Emissionsreduzierung.
Emissionen aus dem internationalen Luft- und Schiffsverkehr	Ausgenommen vom Ziel der Emissionsreduzierung.	Ausgenommen vom Ziel der Emissionsreduzierung.	Teilweise einbezogen in das Emissionsreduktionsziel (Au- ßer-EU-Flüge mit Start in der EU).
Beitrag von Kohlen- stoffsinken aus Land- nutzung, Landnut- zungsänderung und Forstwirtschaft (LULUCF) sowie aus Kohlenstoffabschei- dung, -nutzung und -speicherung (CCUS)	Erwähnung im Hamburger Kli- maplan als mögliche Maßnah- men	LULUCF-Kohlenstoffsinken sind im Emissionsreduktions- ziel enthalten, spielen aber nur eine begrenzte Rolle. Erwähnung von CCUS als wichtiges Element bei der Transformation des Industrie- sektors, um unvermeidbare Restemissionen auszuglei- chen.	LULUCF-Kohlenstoffsinken sind auf 225 Mio. Tonnen be- grenzt , etwa 6 % der Emissio- nen von 2019. Ein Ziel von 310 Mt CO ₂ für 2030 (8 % der Emis- sionen von 2019) kann verein- bart werden. CCUS begrenzt auf Emis- sionen aus industriellen Prozes- sen.

Quelle: (Hamburger Senat, 2022[10]); Erste Überarbeitung des Hamburger Klimaplan (S.28; Anhang 4, S.5; Anhang 4, S.7); Deutscher Klimaschutzplan 2050 (S.50; 14 u. 83; 67); (IEA, 2022[13]); Bundesklimagesetz (Abs. 3, Satz 2).

Kasten 1.2 Drei Bereiche (Scopes) von Treibhausgasemissionen (THG)

Die Treibhausgasemissionen subnationaler geografischer Ebenen, wie Städte und Regionen, können gemäß drei verschiedenen Bereichen (Scopes) definiert werden (World Resource Institute, C40 Cities Climate Leadership Group and ICLEI – Local Governments for Sustainability USA, 2021[14]). Das Gleiche gilt für Unternehmen und Institutionen. Für eine Stadt sind die drei Scopes der Emissionen wie folgt definiert:

- **Scope-1**-Emissionen sind direkte Treibhausgasemissionen, die innerhalb der Stadtgrenzen entstehen.
- **Scope-2**-Emissionen sind indirekte Emissionen, die als Folge des lokalen Verbrauchs von Strom, Wärme, Dampf und/oder Kälte entstehen. Die Stadt Hamburg bezieht auch Emissionen von Ö raffinerien in Scope 2 ein, indem sie sie den Verbrauchern der Ö raffinerieproduktion zuordnet. Scope-2-Emissionen werden in der Regel mit einer standortbasierten Methode geschätzt, bei der die Menge des eingekauften Stroms, der Wärme oder des Dampfes mit dem durchschnittlichen Emissionsfaktor des Energieversorgers multipliziert wird. Alternativ dazu werden die Scope-2-Emissionen mit einer marktbasierter Methode auf der Grundlage spezifischer Strombezugsverträge mit Erzeugern berechnet.
- **Scope-3**-Emissionen sind alle anderen indirekten Emissionen aufgrund von Aktivitäten, die innerhalb der Stadtgrenzen stattfinden. Dies umfasst also alle vor- und nachgelagerten Emissionen in den Wertschöpfungsketten der lokalen Aktivitäten, die außerhalb der Stadtgrenzen stattfinden.

Verbrauchsbedingte Emissionen sind eine Möglichkeit, indirekte Emissionen lokaler Aktivitäten zu erfassen, die nur vorgelagerte Emissionen umfassen. Verbrauchsbedingte Emissionen einer Stadt beziehen sich auf die Treibhausgasemissionen aus dem Verbrauch aller Waren und Dienstleistungen, die letztlich von den Einwohnern der Stadt konsumiert werden, unabhängig von ihrer Herkunft. Verbrauchsbedingte Emissionen hängen stark mit den Konsumausgaben und dem Einkommensniveau zusammen.

Verbrauchsbedingte Emissionen sind in Städten mit hohem Einkommen von besonderem Interesse, da sie dort oft viel höher sind als die Scope-1- oder Scope-2-Emissionen. Die Identifizierung von verbrauchsbedingten Emissionen erlaubt es Städten mit hohem Einkommen, Emissionen auf der Nachfrageseite zu reduzieren, oft zu geringen Kosten, zum Beispiel beim Konsum von Lebensmitteln, Getränken und anderen Konsumgütern, selbst wenn diese nicht vor Ort hergestellt werden (OECD, 2021[15]).

Auf der Ebene einer einzelnen geografischen oder institutionellen Einheit schließen sich die drei Bereiche der Emissionen gegenseitig aus. Wenn jedoch die Emissionen mehrerer Bereiche über geografische oder institutionelle Grenzen hinweg addiert werden, kommt es zu einer Doppelzählung, da die Emissionen eines Bereichs auch die Emissionen eines anderen Bereichs in einer anderen Einheit sein können.

Quelle: (Chen et al., 2018[16]); (Wiedmann et al., 2020[17]); (World Resource Institute, C40 Cities Climate Leadership Group and ICLEI – Local Governments for Sustainability USA, 2021[14]).

Die EU verlangt, dass das Netto-Null-Ziel für Treibhausgasemissionen bei den inländischen Emissionen erreicht wird. Der Kauf von Emissionsminderungen außerhalb der EU wird nicht auf dieses Ziel

angerechnet. Die EU wird zur Finanzierung von Emissionsminderungen außerhalb ihrer Grenzen beitragen, aber dies geschieht zusätzlich zu ihrem Netto-Null-Ziel. Die deutsche Gesetzgebung schließt Beiträge aus internationalen Kompensationsgeschäften zur Erreichung ihrer Ziele nicht aus, aber es scheint die politische Absicht der Regierung zu sein, deren Rolle klein zu halten.

Die EU und Deutschland begrenzen auch die Rolle der Kohlendioxidabscheidung (CDR) als Beitrag zur Emissionsreduzierung. CDR kann zur Emissionsreduzierung beitragen, indem Emissionen dauerhaft an anderer Stelle als in der Atmosphäre absorbiert werden. Zwei Hauptwege sind die Landnutzung und die Änderung der Landnutzung sowie die Kohlenstoffabscheidung, -nutzung und -speicherung (CCUS). Weltweit liegt der Anteil der Emissionen, die durch CDR ausgeglichen werden könnten, bei weniger als 20 % und CDR sollte daher auf den Ausgleich von Restemissionen bei schwer zu dekarbonisierenden Aktivitäten beschränkt werden (Buck et al., 2023[18]).

Die Internationale Seeschiffahrtsorganisation (IMO) hat sich zum Ziel gesetzt, die Treibhausgasemissionen in der internationalen Schifffahrt bis 2050 auf Null zu reduzieren, wengleich die Rolle von Kompensationsmaßnahmen unklar ist (Kapitel 3). Sie machen 3 % der gesamten Treibhausgasemissionen weltweit aus (International Maritime Organization, 2020[19]). Für den internationalen Luftverkehr gilt, dass die Emissionen von Flügen außerhalb der EU, die vom EU- Hoheitsgebiet aus starten, in die Klimaziele der EU einbezogen werden, und zwar auf der Grundlage von im Inland gekauftem Kraftstoff (German Presidency of the Council of the European Union, 2020[20]). Internationale Flüge innerhalb des EU-Territoriums sind in das Europäische Emissionshandelssystem (EU ETS) einbezogen (European Commission, 2021[21]). Deutschland und Hamburg beziehen den internationalen Flugverkehr jedoch nicht in die Emissionsreduzierung ein, um die Auswirkungen der lokalen politischen Maßnahmen besser zu berücksichtigen.

Hamburg ist eine stark international vernetzte Wirtschaft. Daher muss das Ziel der HK zur Klimaneutralität 2040 in den breiteren Kontext der weltweiten Klimaziele gestellt werden. Die meisten OECD-Länder haben sich Netto-Null-Emissionsziele bis 2050 gesetzt, wengleich manche das Netto- Null-Ziel auf CO₂-Emissionen beschränkt und internationalen Kompensationen und CDR eine größere Rolle eingeräumt haben. China will seine Treibhausgasemissionen bis 2060 auf Null reduzieren. Indien strebt eine Netto-Null-Emission bis 2070 an.

Unternehmen werden mit Partnerländern handeln, die ebenfalls Klimaneutralität erreichen müssen, wenn auch möglicherweise später. Die Unternehmen werden ihre Einkäufe von Zwischenprodukten und Dienstleistungen bei ihren Handelspartnern umstellen müssen, um den Fortschritten auf dem Weg zur Klimaneutralität Rechnung zu tragen, was auch in anderen Ländern notwendig ist. Darüber hinaus werden politische Maßnahmen wahrscheinlich vorschreiben, dass importierte Waren und Dienstleistungen immer strengere Anforderungen an die bei der Produktion entstehenden Emissionen erfüllen müssen. Die Europäische Union hat mit der Anpassung der Kohlenstoffgrenzwerte und der Regulierung von entwaldungsfreien Importprodukten erste Schritte in diese Richtung unternommen (Kapitel 2). Da Hamburg ein wichtiger Handelsknotenpunkt mit einem bedeutenden internationalen Hafen ist, ist das Verständnis der Treibhausgasemissionen, die in den an diesem Handel beteiligten Waren und Dienstleistungen enthalten sind, für die Unternehmen in Hamburg besonders wichtig. Dieser internationale Kontext ist wichtig, um die Chancen und Herausforderungen zu verstehen, denen sich die Unternehmen beim Übergang zur Klimaneutralität gegenübersehen.

Diese Diskussion über Emissionsziele hat die folgenden Auswirkungen auf die Umsetzung des HK-Klimaneutralitätsziels:

Das von der HK festgelegte Ziel der Klimaneutralität sollte beinhalten, dass alle direkten (Scope-1-Emissionen) und indirekten Emissionen aus der Nutzung von Strom und Wärme (Scope-2-Emissionen) von Unternehmen zumindest auf dem Gebiet Hamburgs bis 2040 Netto-Null-

Treibhausgasemissionen erreichen. Die Scope-1-Emissionen der Hamburger Unternehmen, die anderswo in Deutschland oder auf dem Gebiet der EU erzeugt werden, sollen bis 2045 bzw. 2050 Netto-Null erreichen. Da die Stromversorgung weitgehend von der deutschen oder EU-Produktion bestimmt wird, die bis 2040 weitgehend dekarbonisiert sein wird, und mit der bestehenden Fernwärmeversorgung innerhalb Hamburgs sollten Hamburger Unternehmen bis 2040 ihren gesamten Strom und ihre gesamte Wärme aus emissionsfreien Quellen beziehen.

Die HK und ihre Unternehmen sollten sich nicht auf umfangreiche internationale Kompensationen verlassen, um ihre Klimaneutralitätsziele zu erreichen. Internationale Emissionsausgleiche können zwischen 2040 und 2050 für die Scope-1-Emissionen der Unternehmen auf Hamburger Gebiet sinnvoll sein, die die Hamburger Unternehmen nur bis 2050, aber nicht bis 2040 auf Null bringen können. Dies könnte insbesondere für schwer zu dekarbonisierende Sektoren relevant sein, einschließlich der emissionsintensiven verarbeitenden Industrie. Scope-1-Emissionen sollten spätestens 2050 ohne internationale Kompensationen Netto-Null erreichen.

Emissionsreduzierungen durch Kohlenstoffsenken sollten eine untergeordnete Rolle spielen. Der Einsatz von CCS sollte auf Prozessemissionen in der Industrie beschränkt werden. Der Ausgleich von Scope-1-Emissionen in geringem Umfang könnte auch die Finanzierung von LULUCF-Kohlenstoffsenken in anderen EU-Ländern einschließen, aber diese sollten im Großen und Ganzen auf den Anteil am LULUCF-Zielbeitrag der EU beschränkt sein.

Hamburger Unternehmen sollten indirekte Emissionen in die Klimaneutralitätsziele einbeziehen. Die Berücksichtigung von Scope-3-Emissionen auf der Ebene der einzelnen Unternehmen erlaubt es, die Chancen und Herausforderungen, die sich aus dem Erreichen der Klimaneutralität ergeben, vollständig in die Geschäftsmodelle zu integrieren. aber auf unterschiedlichen Zeitskalen für Scope-3-Emissionen.

Manche Scope-3-Emissionen der Hamburger Unternehmen könnten nach 2040 klimaneutral werden. Die Ziele für die Scope-3-Emissionen könnten differenziert festgelegt werden, je nachdem, welche Waren und Dienstleistungen angeboten werden, und davon abhängig ob die Wertschöpfungsketten aus Deutschland, der EU oder anderen OECD-Ländern stammen. Wertschöpfungsketten, die ihren Ursprung in der EU haben, sollten bis spätestens 2050 ohne Kompensationen Netto-Null-Treibhausgasemissionen erreichen. Andernorts sollten sie sich weitgehend an wissenschaftlich fundierten weltweiten Emissionsreduktionsszenarien orientieren, die mit einer Begrenzung der globalen Erwärmung auf 1,5 Grad mit einer Wahrscheinlichkeit von mindestens 50 % vereinbar sind. Dies würde voraussetzen, dass in den Wertschöpfungsketten Netto-Null-CO₂-Emissionen erreicht und die Methanemissionen bis 2050 halbiert werden.

Die HK könnte Zwischenziele für die Emissionsreduzierung bis 2030 für Scope-1- und Scope-2-Emissionen festlegen und Leitlinien für Zwischenziele für Scope-3-Emissionen für Unternehmen bereitstellen.

Die HK könnte Investitionsleitlinien ausarbeiten, um Kosten durch verzögertes Handeln zu vermeiden. Sie könnte den spätesten Zeitpunkt angeben, zu dem der Kauf neuer, fossile Brennstoffe verbrauchender Anlagen vermieden werden sollte. Bei einer durchschnittlichen Nutzungsdauer von Autos von 15 Jahren sollte beispielsweise ab 2025 auf den Kauf neuer Autos mit Verbrennungsmotoren verzichtet werden, wenn diese während ihrer gesamten Nutzungsdauer in Hamburg eingesetzt werden.

Die Einhaltung dieser Empfehlungen bringt die Klimamaßnahmen der HK und ihrer Mitglieder mit den Empfehlungen der Hochrangigen Expertengruppe der Vereinten Nationen (UN) zu den Netto-Null-Verpflichtungen von nichtstaatlichen Einrichtungen (Kasten 1.3) in Einklang. Die Expertengruppe gibt zehn wissenschaftlich fundierte Empfehlungen bewährter Praktiken für Netto-Null-Verpflichtungen

nichtstaatlicher Unternehmen, an die sich Hamburger Unternehmen halten sollten (United Nations' High- Level Expert Group, 2022[22]).

Kasten 1.3: Zehn Empfehlungen für Netto-Null-Zusagen von nichtstaatlichen Akteuren durch die Hochrangige Expertengruppe der Vereinten Nationen (UN)

Die zehn Empfehlungen lauten wie folgt. Sie richten sich an subnationale Regierungen und Unternehmen.

1. **Ankündigung einer öffentlichen Netto-Null-Zusage, die Zwischenziele (2025, 2030, 2035) enthält** und mit den IPCC-Szenarien zur Begrenzung der Erwärmung auf 1,5 °C übereinstimmt. Jeder Beteiligte, der in der Lage ist, schneller zu handeln, sollte dies tun.
2. **Festlegung von Netto-Null-Zielen innerhalb eines Jahres nach Abgabe der Zusage.** Die Ziele sollten kurz-, mittel- und langfristige absolute und relative Emissionsreduktionsziele für die gesamte Wertschöpfungskette sein. Die Ziele müssen die Emissionen nach Scope 1, 2 und 3 umfassen. Emissionen, die in Reserven fossiler Brennstoffe eingebettet sind, und landnutzungsbedingte Emissionen sollten separat berücksichtigt werden.
3. **Verwendung freiwilliger Emissionsgutschriften mit hoher Integrität, die über die Wertschöpfungskette hinausgehen,** aber nicht auf die Zwischenziele angerechnet werden. Nichtstaatliche Akteure, die freiwillige Emissionsgutschriften für die dauerhafte Beseitigung von Restemissionen oder jährlichen unverminderten Emissionen jenseits ihrer Netto-Null-Pfade erwerben möchten, müssen hochwertige Emissionsgutschriften verwenden. Hochwertige Emissionsgutschriften sollten mindestens die Kriterien der Zusätzlichkeit und Dauerhaftigkeit erfüllen. Zusätzlichkeit bedeutet, dass die Minderungsmaßnahme ohne den durch die Einnahmen aus den Emissionsgutschriften geschaffenen Anreiz nicht durchgeführt worden wäre. Dauerhaftigkeit bedeutet, dass der abgeschiedene oder vermiedene Kohlenstoff nicht in die Atmosphäre gelangen wird. Jede Gutschriftentransaktion muss transparent ausgewiesen werden, und die damit verbundenen Ansprüche müssen verständlich, konsistent und verifiziert sein.
4. **Erstellung und Veröffentlichung eines umfassenden Übergangsplans,** in dem die Maßnahmen zur Erreichung aller Ziele dargelegt werden. Er sollte beschreiben, wie Governance- und Anreizstrukturen, Kapitalaufwendungen, Forschung und Entwicklung, Fertigkeiten und Humanressourcen für einen gerechten Übergang aufeinander abgestimmt werden sollen. Übergangspläne sollten jedes Jahr aktualisiert werden und über die Fortschritte sollte jährlich Bericht erstattet werden.
5. **Ausstieg aus fossilen Brennstoffen und Ausbau der erneuerbaren Energien.** Die Abkehr von fossilen Brennstoffen muss für alle betroffenen Gemeinschaften, Arbeitnehmer und Verbraucher gerecht sein. Die Abkehr von fossilen Brennstoffen muss mit einer vollständig finanzierten Umstellung auf erneuerbare Energien einhergehen.
6. **Ausrichtung externer politischer Maßnahmen und Anstrengungen** auf das Ziel, bis zum Jahr 2050 Netto-Null zu erreichen. Das bedeutet Einsatz für positive Klimaschutzmaßnahmen und nicht dagegen. Unternehmen sollten ihre Zugehörigkeiten öffentlich offenlegen.
7. **Einbindung von Mensch und Natur in die Bemühungen um einen gerechten Übergang.** Erreichung von Betriebsabläufen und Lieferketten, die die Umwandlung natürlicher Ökosysteme

vermeiden. Beendigung der Abholzung und des Verlusts von Torfand bis 2025 und die Umwandlung anderer verbleibender natürlicher Ökosysteme bis 2030 aus Betrieben und Lieferketten.

8. **Erhöhung der Transparenz und Verantwortlichkeit** durch Berichterstattung über Treibhausgasdaten, Netto-Null-Ziele, Pläne und Fortschritte in einem standardisierten, offenen Format und über eine öffentliche Plattform. Die Offenlegungen sollten genau und zuverlässig sein. Die Unternehmen sollten sich um eine unabhängige Bewertung ihrer jährlichen Fortschrittsberichte und Offenlegungen bemühen.
9. **Investitionen in die Anstrengungen um einen gerechten Übergang**, z. B. sollten alle Unternehmen, die in Entwicklungsländern tätig sind, nachweisen, wie ihre Netto-Null-Umstellungspläne zur wirtschaftlichen Entwicklung der Regionen beitragen, in denen sie tätig sind.
10. **Die Regulierungsbehörden** sollten Vorschriften und Standards in Bereichen wie Netto-Null-Zusagen, Übergangspläne und Offenlegung entwickeln und beschleunigen.

Quelle: (United Nations' High-Level Expert Group, 2022[22]).

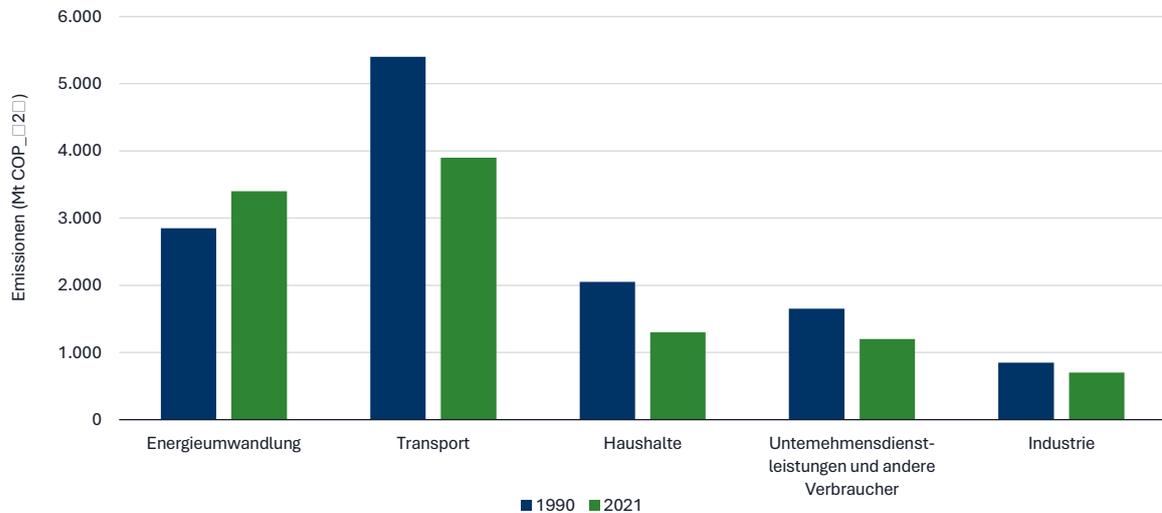
Die sektorale Struktur der Treibhausgasemissionen in Hamburg

Um das Ziel der Klimaneutralität zu erreichen, ist es wichtig, die sektorale Zusammensetzung der Treibhausgasemissionen Hamburgs zu verstehen. Das Hamburger Statistikamt erstellt Statistiken für die energiebezogenen CO₂-Emissionen in Scope 1 und Scope 2. Die Emissionen in diesem Abschnitt beziehen sich auf das Jahr 2019, um die Auswirkungen der COVID-19-Lockdowns auf die Emissionen im Jahr 2020 zu vermeiden. Daten zu Scope-3-Emissionen sind nicht verfügbar.

Nach Angaben des Hamburger Statistikamtes sanken die gesamten Scope-1-CO₂-Emissionen von 12,7 Mio. t im Jahr 1990 auf 10,4 Mio. t im Jahr 2021 (Abbildung 1.2). Energieumwandlung und Verkehr sind die Sektoren, die die meisten Emissionen verursachen. Die Stromerzeugung aus Kohle stieg von 2013 bis 2019 an, ging aber mit der Schließung eines der beiden verbleibenden Kohlekraftwerke im Jahr 2021 zurück. Die Emissionen in der Energieumwandlung beinhalten fast 1 Mio. t CO₂-Emissionen von Öltraffinerien.

Abbildung 1.2 Der Energieumwandlungssektor ist der größte CO₂-Emittent in Hamburg

Energiebezogene CO₂-Emissionen aus der Produktion, Scope 1 in den Jahren 1990 und 2021



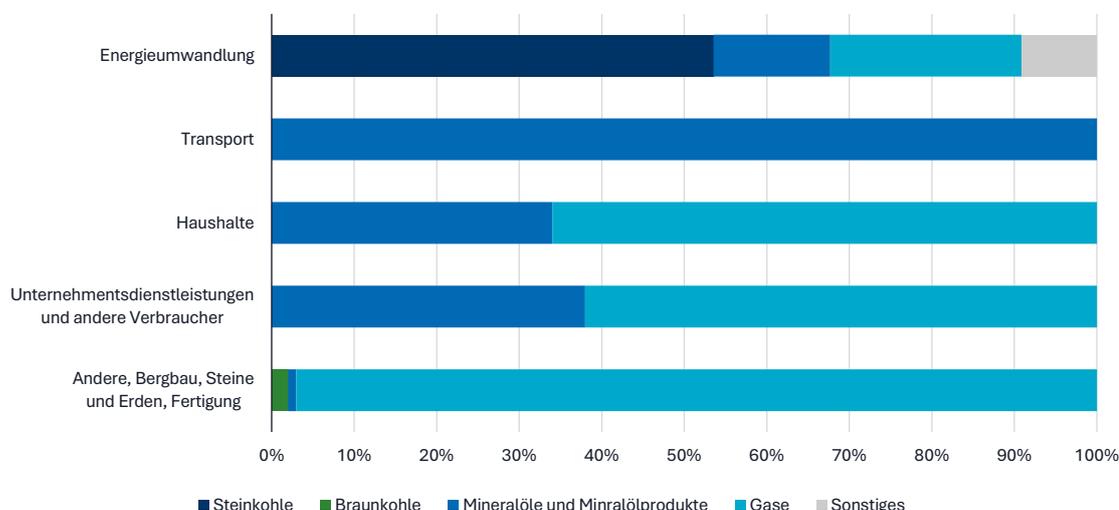
Anmerkung: Emissionen, die durch die Nutzung von Primärenergieträgern entstehen („Quellenbilanz“). Die Energieumwandlung umfasst sowohl die Stromerzeugung als auch Ö Raffinerien. Der Verkehrssektor umfasst den inländischen Schienen- und Straßenverkehr sowie den Luftverkehr, die Küsten- und Binnenschifffahrt. Zu den sonstigen Verbrauchern gehören öffentliche Einrichtungen, kleine Handwerksbetriebe, die nicht zum Industriesektor gehören, Bauunternehmen sowie die Land- und Forstwirtschaft.

Quelle: (Hamburg Statistics Office, 2022[23]).

Etwa die Hälfte der Scope-1-Emissionen des Energieumwandlungssektors entfiel 2021 auf Steinkohle (Abbildung 1.3). Die Emissionen aus der Energieumwandlung gingen daher 2022 stärker zurück. Dennoch trug Erdgas etwa ein Drittel zur Stromerzeugung bei (Abbildung 1.3). Erdgas ist auch eine wichtige Emissionsquelle im Industriesektor, in den anderen Wirtschaftssektoren und in Haushalten, wo es hauptsächlich zum Heizen und Kühlen von Gebäuden verwendet wird. Auch Heizöl trägt zu den Emissionen in diesen Sektoren bei. Die geringen Emissionsminderungen zwischen 1990 und 2021 deuten darauf hin, dass die Maßnahmen zur Emissionsminderung stark beschleunigt werden müssen, um bis 2040 Klimaneutralität zu erreichen. Die Nutzung von Erdgas und Mineralöl muss bis 2040 schrittweise eingestellt werden. Eine denkbare Ausnahme sind Prozessemissionen in der verarbeitenden Industrie aus der Verwendung von Gas oder Öl, die mit CCS verringert werden könnten, wenngleich die Verwendung von Wasserstoff CCS vermeiden könnte, wie in Kapitel 3 erörtert wird. Die Verwendung von Mineralöl in der Energieumwandlung bezieht sich hauptsächlich auf Ö Raffinerien. Auch die Verwendung von Braunkohle und Mineralöl in der Energieerzeugung muss bis 2040 schrittweise eingestellt werden.

Abbildung 1.3 Erdgas ist die größte Emissionsquelle im Bereich der Unternehmensdienstleistungen

Scope-1-Emissionen nach Sektoren und Energieträgern, 2021



Quelle: (Hamburg Statistics Office, 2022[23]).

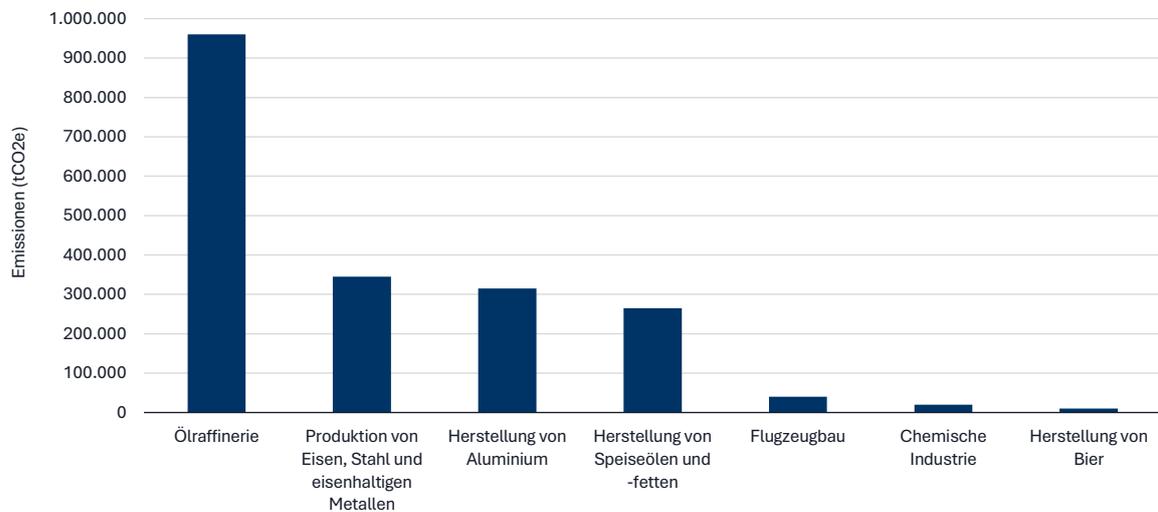
Etwa drei Viertel der Verkehrsemissionen stammen aus dem Straßenverkehr, gefolgt vom Luftverkehr und der Binnenschifffahrt. Die Emissionen des internationalen Schiffsverkehrs sind nicht enthalten. Scope-1-Emissionen im Verkehr sind für Unternehmen aufgrund des Straßengüter- und Fahrgastverkehrs von Bedeutung. Die meisten Scope-1-Emissionen im Fahrgastverkehr dürften auf private Haushalte entfallen. In dem Maße, in dem der Weg von und zur Arbeit diese Emissionen verursacht, tragen sie auch zu den Scope-3-Emissionen der Unternehmen bei.

Treibhausgasemissionen im verarbeitenden Gewerbe

Die meisten industriellen Scope-1-Emissionen entfallen auf das verarbeitende Gewerbe, da der Bergbau nur eine untergeordnete Rolle spielt. Die emissionsintensive Herstellung von Grundstoffen ist mit am schwierigsten zu dekarbonisieren (OECD, 2023[7]). Die Verwendung von EU-ETS-Daten erlaubt eine Aufschlüsselung nach Sektoren, allerdings mit der Einschränkung, dass kleine emittierende Anlagen möglicherweise nicht berücksichtigt werden (OECD, 2023[7]). Die meisten Emissionen des verarbeitenden Gewerbes in Hamburg entstehen in Ö Raffinerien, gefolgt von der Eisen- und Stahlproduktion und der Aluminiumherstellung (Abbildung 1.4, Kasten 1.3) (OECD, 2023[7]) Die von Hamburgs Statistik in Abbildung 1.2 ausgewiesenen Industrieemissionen sind niedriger, da sie die Ö Raffinerien bei der Energieumwandlung und nicht bei der Industrie einschließen.

Abbildung 1.4 Bei der Produktion von raffinierten Ölprodukten, Stahl und Aluminium fallen bedeutende Emissionen an

Emissionen Hamburger Anlagen (2019)



Anmerkung: EU ETS liefert Emissionsdaten, die von jeder Fabrik und Region gesammelt werden. In Kombination mit den Daten zu den Anlagen auf Unternehmensebene aus dem Orbis-Datensatz können die ETS-Daten die Emissionen des Produktionssektors in Hamburg liefern.

Quelle: Mit ETS-ORBIS abgeglichener Datensatz.

Kasten 1.4: Grundstoffverarbeitende Aktivitäten in Hamburg

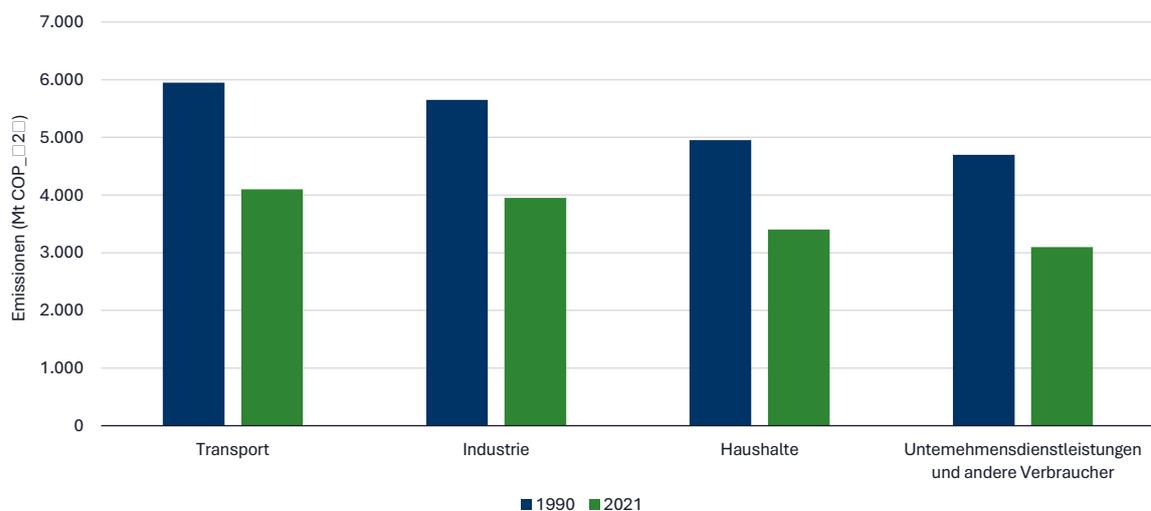
- **Ölraffinerien** – das größte Unternehmen in diesem Sektor ist Holborn, das hauptsächlich Kraftstoffe für den Verkehr herstellt. Im Hinblick auf die Klimaneutralität setzt das Unternehmen auf einen Übergang zu E-Kraftstoffen. Das sind synthetische Kraftstoffe, die aus erneuerbarem Strom hergestellt werden und für alle Verkehrsträger geeignet sind.
- **Stahl** – der größte Akteur in Hamburg ist ArcelorMittal, eines der weltweit führenden Unternehmen der Stahl- und Bergbauindustrie. In Hamburg produziert das Unternehmen Barren und hochwertigen Walzdraht, vor allem für Kunden aus der Automobilindustrie und dem Maschinenbau. In Hamburg arbeitet das Unternehmen mit dem Hamburger H₂-Projekt zusammen und testet eine kohlenstofffreie Produktion von Roheisen und Stahl.
- **Aluminium** – eines der Unternehmen, die in Hamburg Primäraluminium herstellen, ist Trimet. Trimet hat sich zum Ziel gesetzt, bis 2045 klimaneutrales Aluminium zu produzieren.
- **Kupfer** – Aurubis ist der wichtigste Kupferproduzent und Kupferrecycler in Hamburg. Am Standort Hamburg wurde 2021 zum ersten Mal der Einsatz von Wasserstoff im industriellen Maßstab getestet. Das Werk in Hamburg ist außerdem mit dem Kupferzeichen, dem Gütesiegel für Nachhaltigkeit in der Kupferindustrie, ausgezeichnet worden.

Die Hinzufügung der indirekten Emissionen aus der Energienutzung erhöht die Emissionen des Industrie- und Dienstleistungssektors

Das Hamburger Statistikamt stellt Statistiken zur Verfügung, die die Emissionen aus der Energieumwandlung den Endverbrauchssektoren zuordnen, indem es die Scope-2-Emissionen zu den Scope-1-Emissionen addiert („Verursacherbilanz“). Die Endverbrauchssektoren im Energiebereich schließen Aktivitäten aus, die mit der Energieumwandlung verbunden sind, insbesondere die Erzeugung von Strom und Wärme sowie Ö Raffinerien. Die indirekten Emissionen aus der Stromerzeugung werden gemäß den durchschnittlichen Emissionen in Deutschland zugerechnet. Im Jahr 2021 verzeichnete Hamburg 14,45 Mio. t Scope-1- und Scope-2-Emissionen in den Endverbrauchssektoren der Energie, 6,6 Mio. t CO₂ weniger als im Jahr 1990. Die Scope-2-Emissionen tragen wesentlich zu den Emissionen in der Industrie und anderen Geschäftsbereichen sowie in den Haushalten bei (Abbildung 1.5). Dies spiegelt den hohen Anteil von Strom und Wärme am Energiemix dieser Sektoren (Abbildung 1.6) und den relativ hohen Anteil der emissionsintensiven Kohle an der deutschen Strom- und Wärmeerzeugung wider. Im Gegensatz dazu trägt Scope 2 nur geringfügig zu den Verkehrsemissionen bei.

Abbildung 1.5 Die Industrie ist der zweitgrößte Emittent, wenn man die Emissionen der Energieerzeugung mitzählt

Scope-1- und Scope-2-CO₂-Emissionen (Verursacherbilanz) nach Endenergieverbrauchssektor in 1990 und 2021

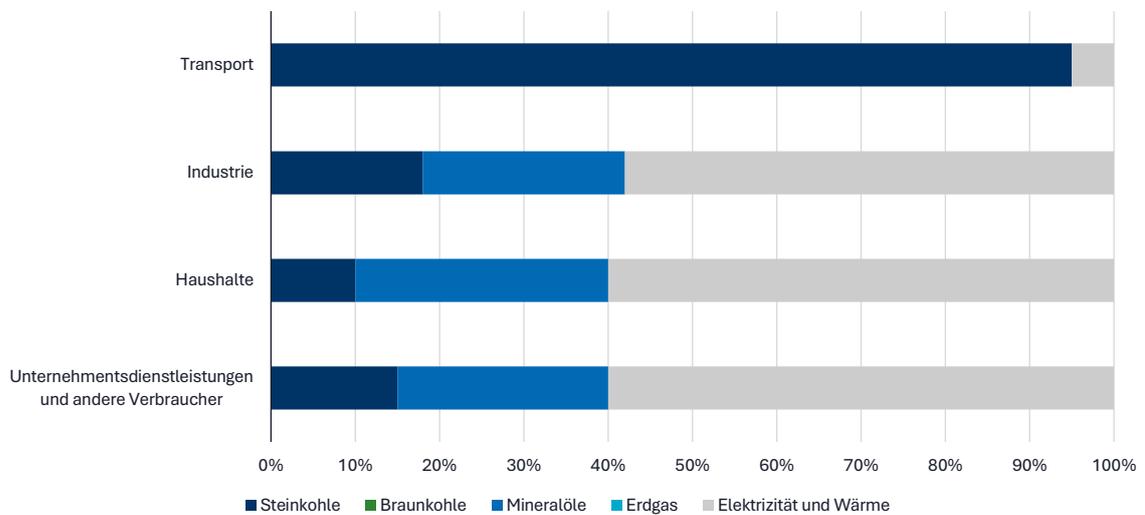


Anmerkung: Der Industriesektor umfasst Bergbau, Steinbrüche und die Herstellung von Vorprodukten und Endprodukten. Er umfasst keine Ö Raffinerien.

Quelle: (Hamburg Statistics Office, 2022[23]).

Abbildung 1.6 Mehr als die Hälfte der Scope-2-Emissionen des Industriesektors stammen aus der Stromerzeugung

Anteil der Scope-2-Emissionen nach Energiequellen im Jahr 2021



Quelle: (Hamburg Statistics Office, 2022[23]).

Die deutschlandweite Dekarbonisierung der Stromerzeugung wird die auf diese Weise gemessenen Scope-2-Emissionen in Hamburg reduzieren. Solange der Energiemix nicht vollständig dekarbonisiert ist, können Hamburger Unternehmen ihre Scope-2-Emissionen reduzieren, indem sie den Energieverbrauch senken oder Energie aus erneuerbaren Quellen beziehen. Unternehmen können sich ihren Fernwärmeversorger im Allgemeinen nicht aussuchen. Klimaneutrale Fernwärme setzt voraus, dass die Wärmeerzeugung aus Kohlekraft innerhalb und außerhalb Hamburgs durch den regionalen Energieversorger schrittweise eingestellt wird. Die Landesregierung, die Eigentümerin des Fernwärmeversorgers ist, hat sich verpflichtet, dies bis 2030 zu erreichen.

Eine zentrale Herausforderung auf dem Weg zur Klimaneutralität ist die Notwendigkeit, den Großteil der Energienutzung zu elektrifizieren und gleichzeitig fast die gesamte Stromerzeugung auf erneuerbare Energien umzustellen. Nach Angaben der IEA muss der Anteil der Elektrizität am Endenergieverbrauch im Jahr 2050 auf 52 % steigen, was einen deutlichen Anstieg gegenüber den 20 % im Jahr 2021 bedeutet, um weltweit Netto-Null-Treibhausgasemissionen zu erreichen. 88 % der Stromerzeugung wird aus erneuerbaren Energien stammen (International Energy Agency, 2022[24]). In Europa wird erwartet, dass die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien im Vergleich zu 2021 (International Energy Agency, 2022[24]) um mehr als 380 % steigen muss, um 2050 Klimaneutralität zu erreichen. Deutschland will bereits im Jahr 2030 einen Anteil von 80 % an erneuerbaren Energien erreichen. Ohne Anstrengungen zur Senkung des Energieverbrauchs besteht die Gefahr, dass der notwendige Ausbau der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien ein Ausmaß annimmt, das nur schwer zu bewältigen ist. In einer klimaneutralen Welt wird die Energie daher wahrscheinlich knapp sein. Die Energieintensität des BIP könnte bis 2050 weltweit um etwa zwei Drittel sinken müssen (OECD, 2021[15]). In der EU setzt der RePowerEU-Plan das Ziel, den Primärenergieverbrauch um 13 % zu senken. (European Commission, 2023[25]). Die Senkung der Energienachfrage senkt nicht nur die Kosten, sondern erhöht auch die Widerstandsfähigkeit der Unternehmen gegenüber Schocks bei der Energieversorgung.

Mancher Energiebedarf kann aus nachhaltigen, kohlenstofffreien Quellen ohne Elektrifizierung gedeckt werden. Biokraftstoffe können fossile Brennstoffe mit relativ begrenzten Änderungen an der Ausrüstung,

z. B. an den Motoren, ersetzen. Biokraftstoffe sind nur dann emissionsfrei, wenn sie aus nachhaltigem Wachstum von Biomasse stammen. Die Nachfrage nach Bioenergie allein für die industrielle Produktion wird jedoch wahrscheinlich das nachhaltige Bioenergieangebot übersteigen (Material Economics, 2019[26]). Die Entwicklung der Biomasse konkurriert auch mit wichtigen Landnutzungen, insbesondere für die Nahrungsmittelproduktion und den Schutz der Artenvielfalt. Darüber hinaus ist die Versorgung mit Biomasse anfällig für Schocks, auch durch extreme Klimaereignisse wie Brände oder Dürren.

„Grüner Wasserstoff“, der aus erneuerbarem Strom und Wasserstoffprodukten wie synthetischen Kraftstoffen hergestellt wird, kann anstelle von Strom ebenfalls zur Dekarbonisierung dienen. Dies gilt vor allem dann, wenn die Elektrifizierung der Energienutzung schwierig ist, zum Beispiel weil die Temperaturen in den Produktionsprozessen sehr hoch sind. Allerdings ist die Umwandlung von erneuerbarem Strom in Wasserstoff mit erheblichen Energieverlusten verbunden. Die Produktion von grünem Wasserstoff kann sich weltweit auf Regionen mit dem höchsten Potenzial an erneuerbaren Energien konzentrieren und wird international handelbar sein, sodass sie Schocks ausgesetzt ist, die international übertragen werden können.

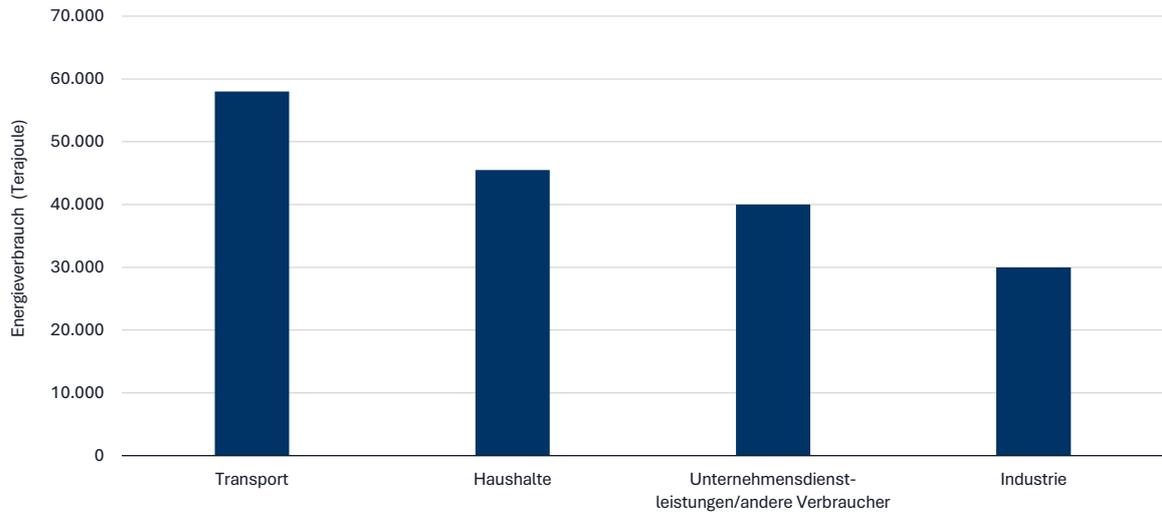
Daher sprechen die Einschränkungen von Bioenergie und Wasserstoff, einschließlich der aus Wasserstoff gewonnenen Kraftstoffe, dafür, sie vorrangig für Verwendungszwecke einzusetzen, für die Strom oder andere Energiequellen nicht geeignet oder unzureichend sind. Dies gilt insbesondere für den Schwerlastverkehr (Luft- und Straßengüterverkehr sowie Schiffe) und für die schwer zu dekarbonisierende verarbeitende Industrie. Längerfristig ist die Verbrennung von Biomasse eine wichtige Quelle für negative Nettoemissionen, wenn sie mit Kohlenstoffabscheidung und -speicherung (CCS) kombiniert wird (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2019[27]). Sich auf Wasserstoff und Biomasse zu verlassen, wenn es nicht notwendig ist, kann auch die Widerstandsfähigkeit schwächen, da diese Energiequellen anfällig für Schocks und hohe Preise sein können.

Weitere erneuerbare Energiequellen neben der Elektrizität sind die Solarenergie und die Geothermie zur Wärmeerzeugung. Ihr Beitrag zur Deckung des Endenergiebedarfs wird voraussichtlich begrenzt sein. Um den prognostizierten Energieverbrauch für eine Netto-Null-Emission bis 2050 zu decken, könnten weltweit 6 % auf Wasserstoff, 4 % auf Biokraftstoffe und 2 % auf Wärme, einschließlich aus geothermischen Quellen, entfallen (International Energy Agency, 2022[28]).

Der Verkehr verbraucht in Hamburg sektorübergreifend die meiste Energie (Abbildung 1.7), wobei der Straßenverkehr den größten Anteil ausmacht (Abbildung 1.8). Energiesparende Verkehrsmittel sind daher besonders wichtig. Der Verkehr ist auch der Sektor, der bei der Elektrifizierung der Energienutzung am wenigsten fortgeschritten ist (Abbildung 1.9). In der Industrie und anderen Wirtschaftszweigen entfällt etwa die Hälfte des Energieverbrauchs auf Strom.

Abbildung 1.7 Der Verkehrssektor verbraucht die meiste Energie

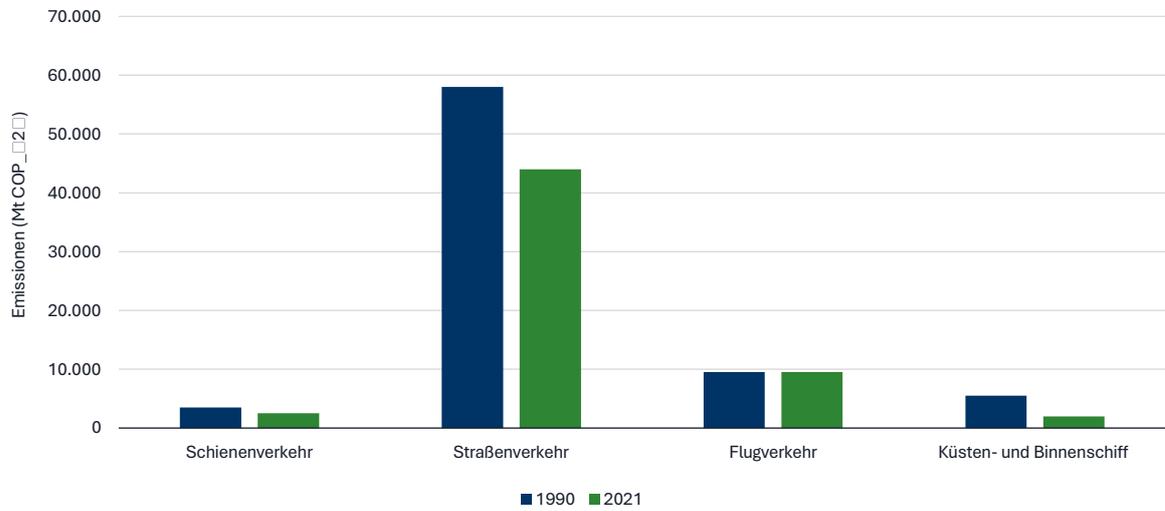
Endenergieverbrauch nach emittierenden Sektoren im Jahr 2021, Hamburg



Quelle: (Hamburg Statistics Office, 2022[23]).

Abbildung 1.8 Der Straßenverkehr ist der größte Energieverbraucher im Verkehrssektor

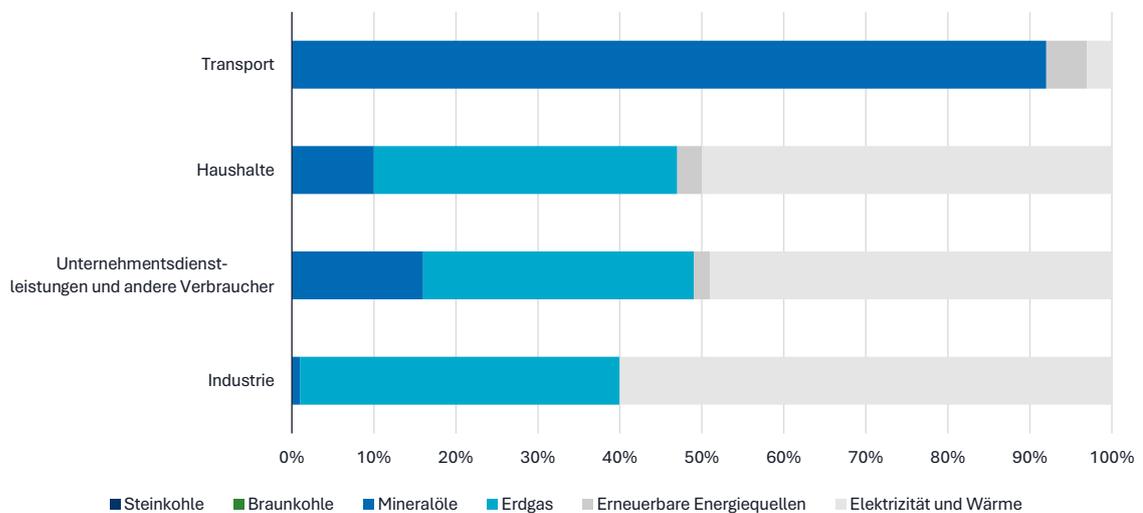
Endenergieverbrauch des Verkehrssektors im Jahr 1990 und 2021, Hamburg



Quelle: (Hamburg Statistics Office, 2022[23]).

Abbildung 1.9 Fossile Brennstoffe machen mindestens 40 % des Endenergieverbrauchs in allen Sektoren aus

Anteil des Energieverbrauchs nach Quellen im Jahr 2021, Hamburg

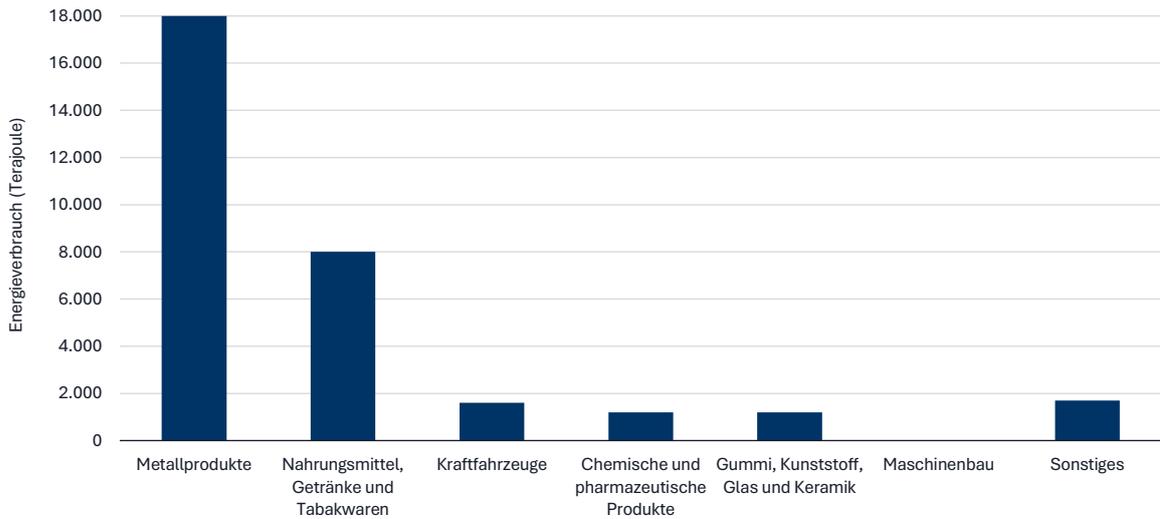


Quelle: (Hamburg Statistics Office, 2022[23]).

Die Metallindustrie, einschließlich der Stahl-, Kupfer- und Aluminiumproduktion, ist der größte Energieverbraucher im verarbeitenden Gewerbe, gefolgt von der Nahrungsmittelproduktion (Abbildung 1.10). Der größte Teil des Energieverbrauchs in der Metallproduktion ist noch nicht elektrifiziert, was die Herausforderungen der Transformation noch verstärkt. Erdgas ist die größte Energiequelle für die Herstellung von Metallen und Metallprodukten. Es wird in der Roheisen- und Stahlproduktion verwendet. Es muss schrittweise abgelöst werden, um bis 2040 Klimaneutralität zu erreichen. In den meisten anderen Teilsektoren dominiert die Elektrizität (Abbildung 1.11).

Braunkohle und Mineralöle werden noch in einigen wenigen Bereichen eingesetzt, insbesondere in der Kfz-Produktion und bei der Herstellung chemischer Produkte. Ihr Einsatz ist marginal und trägt nur wenig zum Energieverbrauch und zu den Emissionen bei. Die Öltraffinerien werden in der Hamburger Statistik über den Energieverbrauch der Industrie nicht erfasst. Sie sind jedoch der energieintensivste Sektor im verarbeitenden Gewerbe (OECD, 2023[7]). Sie stehen außerdem vor besonderen Herausforderungen, weil ihre Produktion aus fossilen Brennstoffen besteht, die auslaufen müssen.

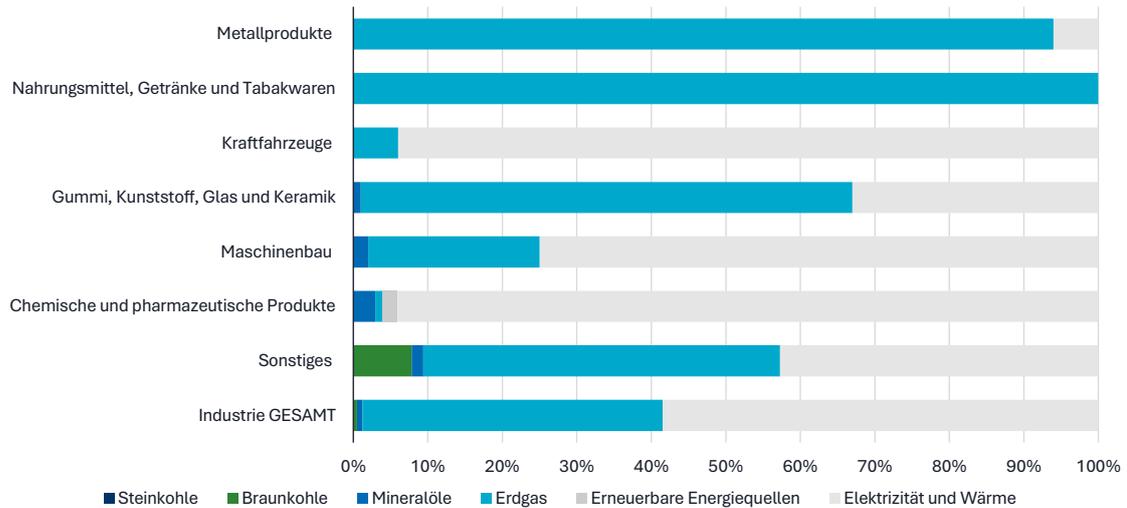
Abbildung 1.10 Endenergieverbrauch des verarbeitenden Gewerbes im Jahr 2021



Quelle: Ohne Ölraffinerien (Hamburg Statistics Office, 2022[23]).

Abbildung 1.11 Erdgas ist eine wesentliche Emissionsquelle in der Metallproduktion

Zusammensetzung des Endenergieverbrauchs im verarbeitenden Gewerbe nach Energieträgern, 2021



Quelle: (Hamburg Statistics Office, 2022[23]).

Die Struktur der Hamburger Wirtschaft nach Sektoren

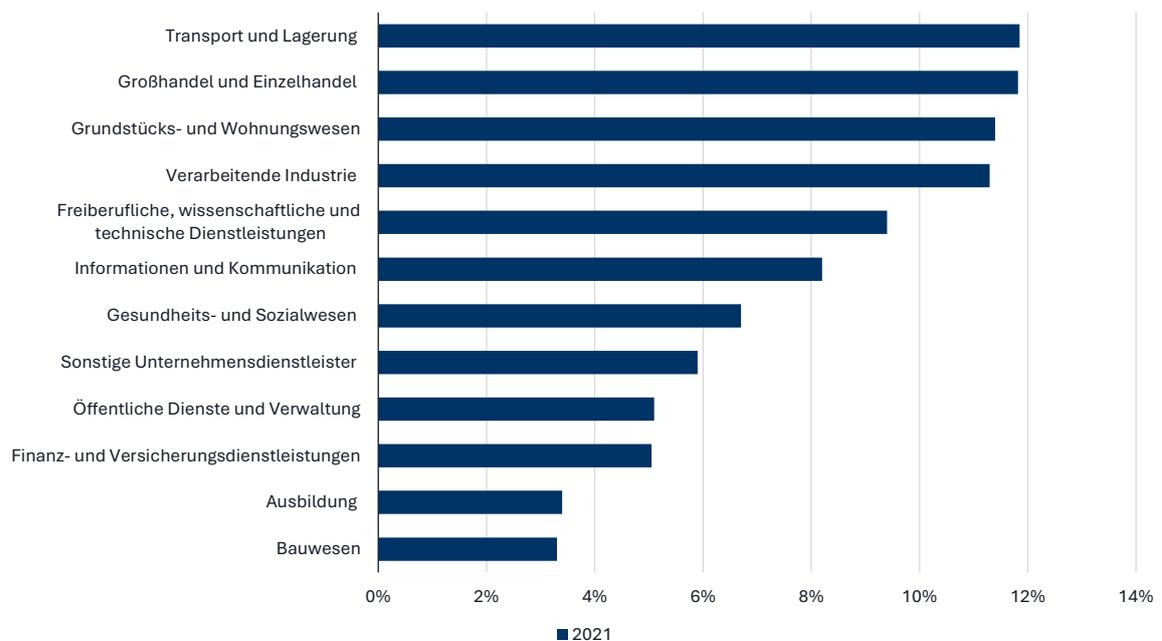
Hamburg ist eine wirtschaftlich erfolgreiche, wohlhabende Region nach europäischen und OECD-Standards. Das Pro-Kopf-BIP der Region Hamburg ist das höchste der deutschen Regionen, auch wenn das Wachstum schwächer war als in den dynamischsten Metropolregionen Deutschlands, wie im OECD Hamburg Territorial Review (OECD, 2019[29]) beschrieben. So früh wie möglich den Übergang zur Klimaneutralität zu vollziehen, kann dazu beitragen, die Hamburger Wirtschaft vorteilhaft zu positionieren,

Investitionen zukunftssicher zu machen, unnötige zukünftige Kosten zu vermeiden, sich auf die Herausforderungen vorzubereiten und die Chancen zu nutzen.

Die Hamburger Wirtschaft ist breit gefächert, wobei Unternehmensdienstleistungen und das verarbeitende Gewerbe den größten Anteil an der Wertschöpfung haben (Abbildung 1.12). Die größten Dienstleistungsanteile entfallen auf die Sektoren Verkehr und Logistik, Handel und Immobilien. Abgesehen von den Dienstleistungen, die vom öffentlichen Sektor dominiert werden, sind die Informations- und Kommunikationsdienstleistungen sowie die wissenschaftlichen und technischen Tätigkeiten neben dem verarbeitenden Gewerbe die wichtigsten Bereiche, die 2021 zum Wirtschaftswachstum beitrugen (Abbildung 1.13). Im Gegensatz dazu sind der Groß- und Einzelhandel, Transport und Logistik sowie die Finanzdienstleistungen geschrumpft oder kaum gewachsen. Das verarbeitende Gewerbe ist auch besonders energie- und emissionsintensiv, da der Anteil der Industrie am Energieverbrauch und an den Scope-1- und Scope-2-Emissionen (die größtenteils auf das verarbeitende Gewerbe entfallen) den Anteil des verarbeitenden Gewerbes an der Wertschöpfung übersteigt.

Abbildung 1.12 Unternehmensdienstleistungen und das verarbeitende Gewerbe tragen am meisten zur Wertschöpfung des privaten Sektors bei

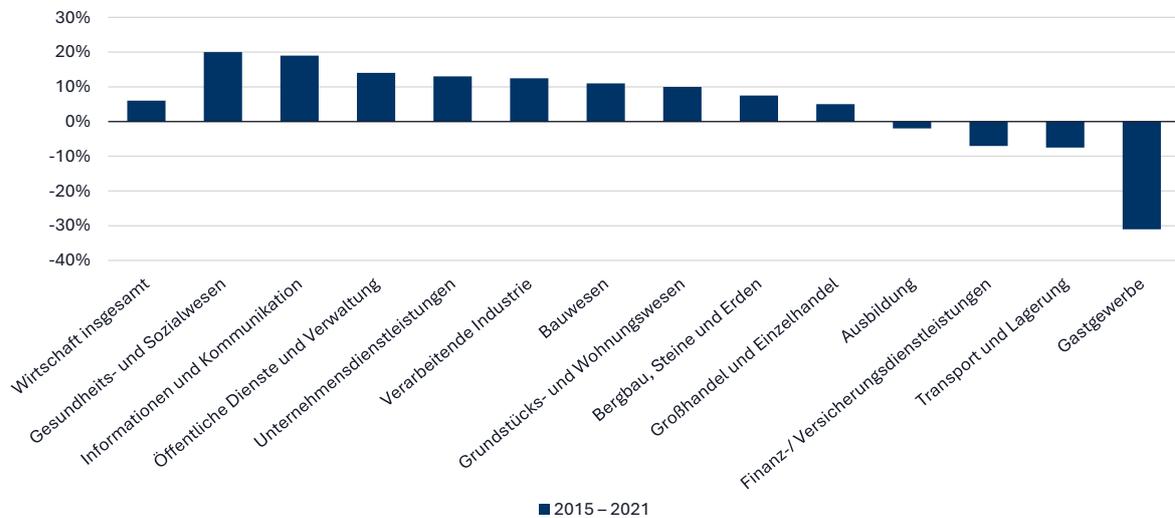
Anteile an der gesamtwirtschaftlichen Wertschöpfung nach Sektoren 2021, Hamburg (in Basispreisen)



Quelle: Statistikamt Hamburg (2023).

Abbildung 1.13 Informations- und Kommunikationsdienstleistungen, Industrie und Unternehmensdienstleistungen sind Wachstumstreiber

Reales Wertschöpfungswachstum, Hamburg, 2015–2021



Quelle: Statistikamt Hamburg (2023).

Während Transport und Logistik in der Vergangenheit zurückgegangen sind, ist die Region weiterhin stark auf Logistik und Handel angewiesen, wobei der Hamburger Hafen eine der wichtigsten wirtschaftlichen Säulen ist (Kasten 1.5). Der Hafen ist eng mit der verarbeitenden Industrie in Hamburg und darüber hinaus verflochten, vor allem mit der Grundstoffindustrie (einschließlich Aluminium, Kupfer und Stahl). Beispielsweise machen Grundmetalle rund ein Viertel des Import- und Exportgeschäfts des Hafens mit Stückgut aus, während der Anteil der Transportfahrzeuge 40 % beträgt. Das verarbeitende Gewerbe und die Hafentätigkeit wirken sich auf andere Sektoren aus. Dies kann sowohl Aktivitäten durch Glieder in Lieferketten, wie Handel, technische oder finanzielle Dienstleistungen, als auch Nachfrageeffekte durch das von ihnen erzeugte Einkommen umfassen. Dies wird durch die hohe Arbeitsproduktivität im verarbeitenden Gewerbe noch verstärkt.

Wie in Kapitel 3 erörtert, ist die Wirtschaft der Stadt gut aufgestellt, um eine führende Rolle bei der Dekarbonisierung des Güterverkehrs zu spielen, der im globalen Maßstab nur schwer zu dekarbonisieren ist, wobei sie auf ihrer starken Schieneninfrastruktur und ihrem Status, als einer der 4 größten Häfen Europas, aufbaut. Außerdem gehören Schifffahrt und Schienenverkehr zu den am wenigsten energieintensiven Verkehrsträgern. Wie dieses Kapitel gezeigt hat, ist der Verkehr energieintensiv, und die Senkung des Energieverbrauchs ist eine zentrale Herausforderung beim Übergang zur Klimaneutralität. Eine erfolgreiche Dekarbonisierung könnte daher die wirtschaftliche Dynamik der Stadt weiter ankurbeln. Auch bei der Dekarbonisierung des Schwerlastverkehrs auf der Straße und bei der Dekarbonisierung der wichtigsten verarbeitenden Industrien ist die Stadt gut aufgestellt. Wie in Kapitel 3 erörtert, kann die Stadt außerdem eine wichtige Rolle als Wasserstoff-Hub spielen. Bei diesen Aktivitäten kann sie auf ein breites Spektrum an zukunftsweisenden Forschungs- und Entwicklungsprojekten sowie Infrastrukturprojekten zurückgreifen.

Kasten 1.5 Hamburger Hafen und damit verbundene Transportdienstleistungen

Hamburg hat nach Rotterdam und Antwerpen den drittgrößten Hafen in Europa. Er ist eng mit dem Landverkehr von und nach dem Hamburger Umland verbunden, insbesondere mit Deutschland, Mitteleuropa und dem Ostseeraum (Abbildung 1.14). 70 % der Hamburger Unternehmen im Bereich Transport und Logistik sind im landgestützten Gütertransport tätig. Die Verschiffung von Containern, die eine große Vielfalt an Industrieprodukten transportieren, dominiert die Hafentätigkeit, ist aber in Bezug auf die Frachtverschiffung rückläufig. China ist bei weitem das wichtigste Herkunfts- und Zielland. Der Stückgutverkehr bringt dem Hafen eine höhere Wertschöpfung und hat zugenommen und ist enger mit der lokalen Produktion verbunden als der Containerverkehr. Etwa ein Viertel der in Hamburg verschifften Güter wird auf den weiteren Seeverkehr umgeladen oder von diesem übernommen. Nahezu die Hälfte des landgestützten Transports wird über die Schiene abgewickelt, der Rest über die Straße, wobei die landgestützten Handelsverbindungen hauptsächlich EU-Länder in Mittel- und Osteuropa bedienen, auch über große Entfernungen (Abbildung 1.14). Für die weiter entfernten Standorte überwiegt die Schiene, und der Hafentwicklungsplan sieht Schritte zum weiteren Ausbau des Schienenanteils vor. Dies wird in Kapitel 3 ausführlicher analysiert.

Abbildung 1.14 Containerzugverbindungen mit dem Hamburger Hafen



Quelle: (Hamburg Chamber of Commerce, 2010[30]).

In vielen anderen Dienstleistungssektoren wird sich die Verringerung der Scope-1-Emissionen auf die Bereiche Beheizung und Kühlung von Gebäuden, Elektrifizierung von Anlagen und Anstrengungen zur Reduzierung des Energieverbrauchs konzentrieren. Die Herausforderungen bei der Reduzierung von Scope-3-Emissionen sind jedoch unterschiedlich. Manche Sektoren verarbeiten große Mengen an emissionsintensiven Waren und Dienstleistungen. Dies gilt für den Groß- und Einzelhandel oder auch das verarbeitende Gewerbe. Die Scope-3-Emissionen des Hamburger Kupferproduktionskonzerns *Aurubis* zum Beispiel stellen die Scope-1-Emissionen in den Schatten (Kapitel 2).

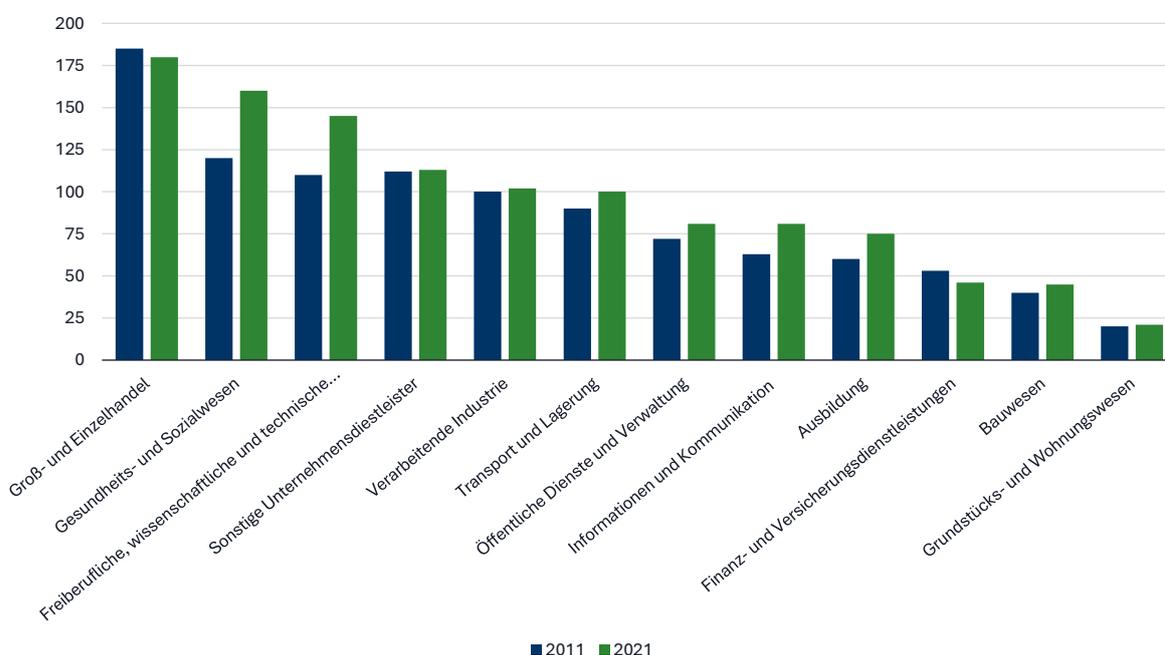
Der Bausektor wird die Aufgabe übernehmen müssen, alle Gebäude klimaneutral zu gestalten, was eine sehr große Ausweitung der arbeitsintensiven Tätigkeiten sowie neue Qualifikationsanforderungen mit sich bringen wird. Bei den Unternehmensdienstleistungen sowie den Informations- und Kommunikationsdienstleistungen werden sich Chancen ergeben, zum Beispiel durch den Einsatz digitaler Technologien für die flexible Nutzung intermittierender erneuerbarer Energien (Kapitel 2) oder die Kreislaufwirtschaft (Kapitel 4).

Allgemeine Gleichgewichtsmodelle der OECD deuten darauf hin, dass die sektoralen Wertschöpfungs- und Beschäftigungsverschiebungen, die sich aus der Transformation zur Klimaneutralität ergeben, in den meisten Sektoren in allen Ländern der Europäischen Union gering sind, auch wenn es in manchen Branchen der Grundstoffherstellung zu einem gewissen Verlust an Tätigkeiten kommen kann. Die Auswirkungen können in einzelnen Regionen größer sein, abhängig von ihrer sektoralen Spezialisierung, aber auch von ihrer Bereitschaft (OECD, 2021[15]).

Beschäftigungsdaten erlauben eine detailliertere sektorale Analyse als Wertschöpfungsdaten. Die meisten Sektoren haben die Beschäftigung in den letzten 10 Jahren erhöht. Der Sektor Groß- und Einzelhandel ist der größte Arbeitgeber (Abbildung 1.15). Auf den Einzelhandel entfallen fast 60 % der Beschäftigung in diesem Sektor (Abbildung 1.16). Der Beitrag des verarbeitenden Gewerbes zur Beschäftigung ist relativ gering, was auf seine hohe Produktivität zurückzuführen ist.

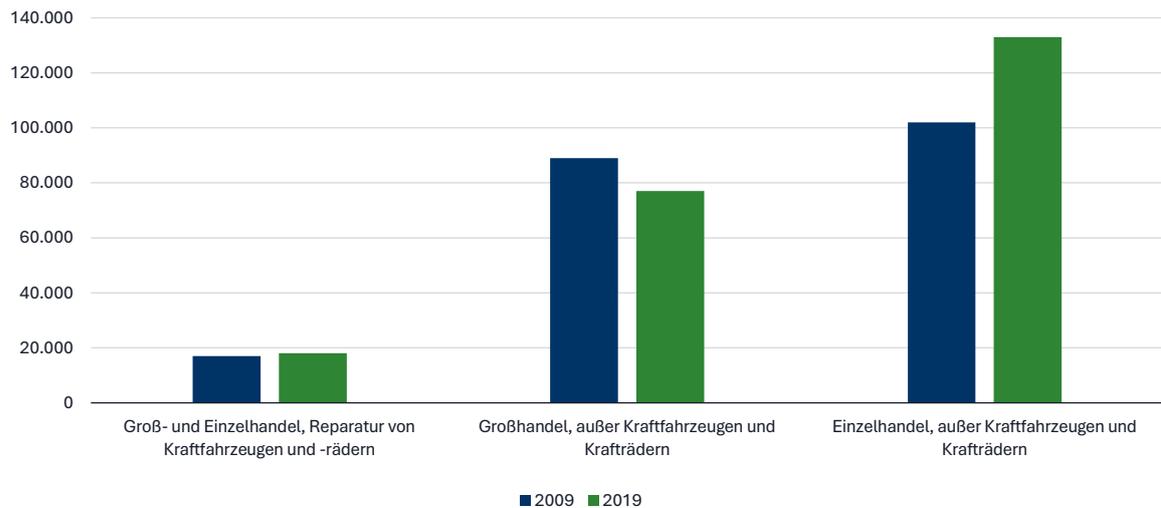
Abbildung 1.15 Der Groß- und Einzelhandel ist der größte Arbeitgeber in der Hamburger Wirtschaft

Beschäftigung in Hamburg 2011 und 2021 nach Sektoren in absoluten Zahlen (in Tausend)



Anmerkung: Die Beschäftigung basiert auf dem Inlandskonzept, bei dem die Arbeitnehmer nach dem Ort des Arbeitsplatzes gezählt werden. Quelle: Statistikamt Hamburg (2023).

Abbildung 1.16 Der Einzelhandel dominiert die Beschäftigung im Handelssektor

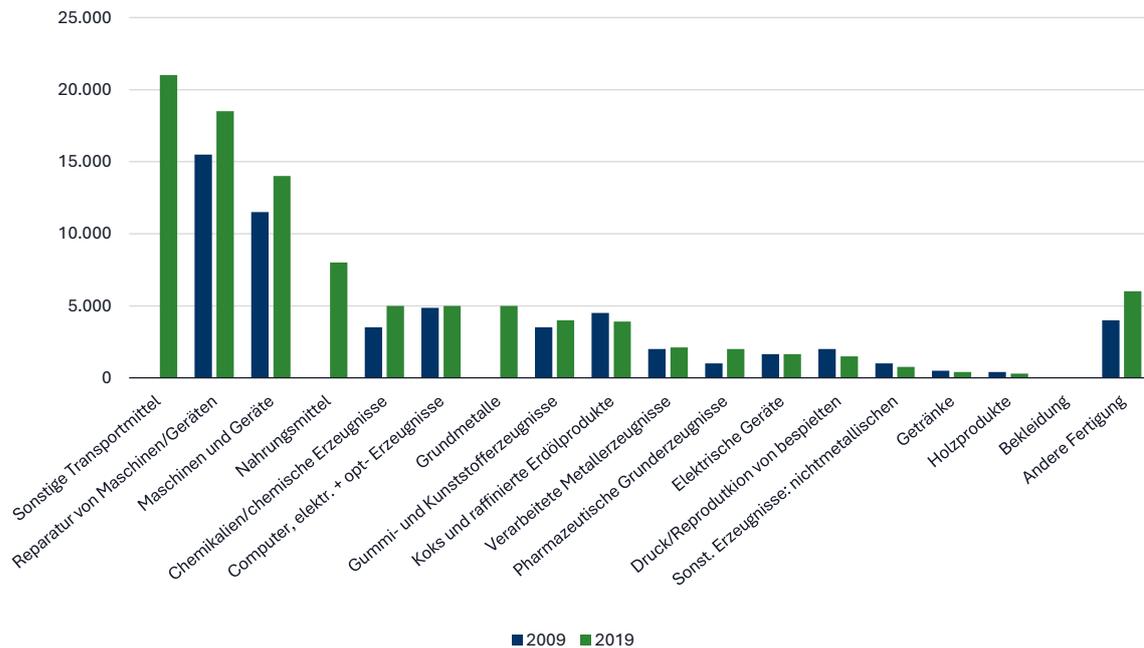


Anmerkung: Die Beschäftigung basiert auf dem Inlandskonzept, bei dem die Arbeitnehmer nach dem Ort des Arbeitsplatzes gezählt werden. Quelle: Eurostat-Datenbank Strukturelle Unternehmensstatistik (SUS, 2022).

Der Fahrzeugbau, die Reparatur und Installation von Maschinen und Ausrüstungen und die Herstellung von Maschinen und Ausrüstungen sind die drei wichtigsten Arbeitgeber im verarbeitenden Gewerbe (Abbildung 1.17). Der Fahrzeugbau umfasst hauptsächlich die Herstellung von Flugzeugen. Wie vorstehend gezeigt, sticht die Flugzeugproduktion in Bezug auf die lokalen Scope-1-Emissionen und den Energieverbrauch nicht hervor. Sie steht jedoch vor großen Herausforderungen in Bezug auf die Klimaneutralität, die sich aus den Emissionen bei Flügen ergeben. Dabei handelt es sich um nachgelagerte Scope-3-Emissionen. Technologien für emissionsfreie Flugzeugkraftstoffe sind noch nicht verfügbar. Neben den Kraftstoffen tragen auch die Kondensstreifen und die Wolkenbildung von Flugzeugen erheblich zur globalen Erwärmung bei. Eine kurzfristige Option zur Emissionsreduzierung ist die Verwendung von Biokraftstoffen. Längerfristig kann die Substitution von Flugreisen, insbesondere auf Kurz- und Mittelstrecken, die Nachfrage verringern.

Unter den Sektoren des verarbeitenden Gewerbes mit relativ hohen Scope-1-Emissionen und hohem Energieverbrauch beschäftigen die Metallerzeugung, Ölraffinerien und die Nahrungsmittelproduktion jeweils zwischen 3000 und 8000 Arbeitnehmer. Allerdings erzeugt nur ein Teil der Lebensmittelindustrie erhebliche Scope-1-Emissionen. Diese Aktivitäten stehen auch vor erheblichen Herausforderungen durch Scope-3-Emissionen. Dazu gehören die Gewinnung von Rohstoffen und nachgelagerte Emissionen aus der Produktnutzung.

Abbildung 1.17 Flugzeugbauer beschäftigen die meisten Arbeitnehmer im verarbeitenden Gewerbe

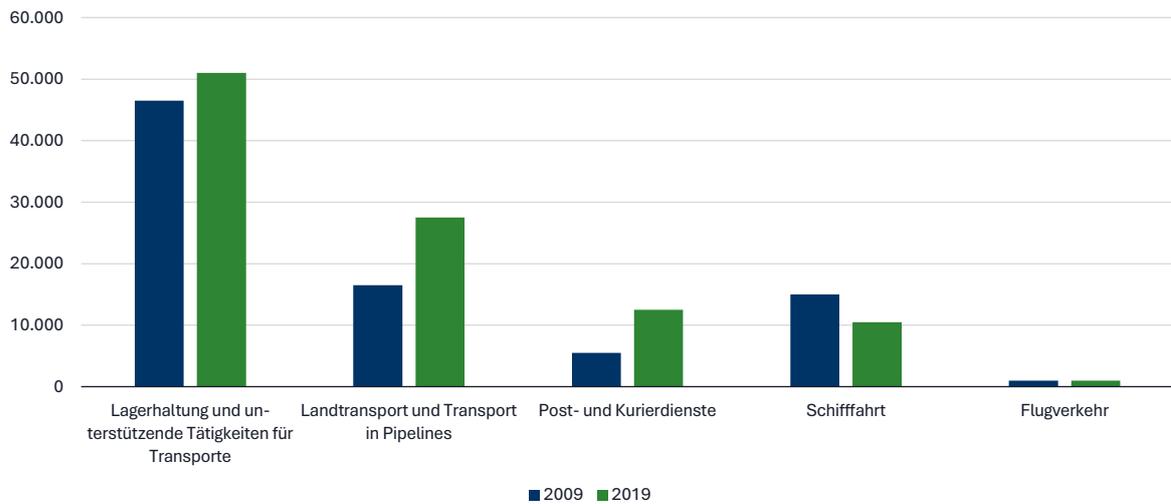


Anmerkung: Beschäftigungsdaten für Sonstige Transportmittel, Nahrungsmittel, Grundmetalle und Bekleidung sind für 2009 nicht verfügbar. Der größte Teil der Beschäftigung im Bereich Sonstiger Fahrzeugbau entfällt auf die Flugzeugproduktion. Die Beschäftigung basiert auf dem Inlandskonzept, bei dem die Arbeitnehmer nach dem Ort des Arbeitsplatzes gezählt werden.

Quelle: Eurostat-Datenbank Strukturelle Unternehmensstatistik (SUS, 2022).

Lagerhaltung und unterstützende Tätigkeiten machen etwa 50 % der Beschäftigung im Bereich Transport und Logistik aus (Abbildung 1.18). Die Unternehmen im Bereich Hilfstätigkeiten erbringen Logistikdienstleistungen, Dienstleistungen beim Be- und Entladen von Fracht, unterstützende Dienstleistungen für die Schifffahrt und verkehrsträgerübergreifende Transportdienstleistungen. Diese Aktivitäten sind stark von der Umstellung auf Klimaneutralität betroffen und können von ehrgeizigen Maßnahmen profitieren, um den Verkehr für die Klimaneutralität bereit zu machen (Kapitel 3).

Abbildung 1.18 Lagerhaltung und unterstützende Tätigkeiten dominieren die Beschäftigung im Bereich Transportdienstleistungen



Anmerkung: Die Beschäftigung basiert auf dem Inlandskonzept, bei dem die Arbeitnehmer nach dem Ort des Arbeitsplatzes gezählt werden. Quelle: Eurostat-Datenbank Strukturelle Unternehmensstatistik (SUS, 2022).

Maßnahmen zur Klimaneutralität in Vergleichsstädten

In diesem Abschnitt werden anhand von Zielen und Maßnahmenplänen für Klimaschutzmaßnahmen in den Vergleichsstädten Lehren für die Dekarbonisierung der Hamburger Wirtschaft gezogen. Die drei ausgewählten Städte sind Rotterdam, Seattle und Stockholm (Tabelle 1.3). Jede von ihnen bietet Merkmale, die zum Nutzen der Hamburger Wirtschaft analysiert werden sollten.

Tabelle 1.3: Städte im Vergleich

	Rotterdam	Seattle	Stockholm
Zieltermin für Klimaneutralität	2050	2050	2040
Ziel 2030	CO ₂ -Emissionsreduzierung um 55 % im Vergleich zu 2019	Reduzierung der Treibhausgasemissionen um 58 % im Vergleich zu 2008	Fossilbrennstofffreier Kommunalbetrieb bis 2030 Senkung der Treibhausgasemissionen aus dem Verkehr um 70 %
Hafenstadt	Ja, die größte in Europa	Ja	Ja, aber hauptsächlich ein Fahrgasthafen
Einwohnerzahl	624.000	733.919	923.516
Umfang der Emissionen im Klimaschutzplan	Scope 1 – Hafen und Industrie, Gebäude, Verkehr Scope 2 – Energie Scope 3 – Verbrauch der Bürger	Scope 1 – Verkehr, Gebäude, Hafen Scope 2 – Energie Scope 3 – der Hafen	Scope 1 – Gebäude, Verkehr Scope 2 – Energie Scope 3 – Verbrauch der Bürger

Quelle: (City of Seattle, 2018[31]) (Energieswitch, 2019[32]) (Stockholms Stad, 2020[33]) (Port of Seattle, 2021[34]).

Rotterdam hat eine ähnliche Wirtschaft wie Hamburg, da es Europas größter Hafen und Verkehrsknotenpunkt ist und industrielle Aktivitäten beherbergt, vor allem Ölraffinerien. Daher könnte die Stadt bei der Umstellung vor vergleichbaren Herausforderungen stehen. Seattle beherbergt ebenfalls einen internationalen Hafen und stellt einen sehr detaillierten Dekarbonisierungsplan für diesen bereit. Auch hier gibt es industrielle Aktivitäten, vor allem im Flugzeugbau. Rotterdam und Seattle schlagen Klimaneutralitätsziele für 2050 vor; Stockholm ist mit einem Klimaneutralitätsziel für 2040 ehrgeiziger. Alle drei Klimaschutzpläne umfassen die Scope-1-Emissionen von Gebäuden und Verkehr, Seattle und Rotterdam legen den Schwerpunkt auch auf die Emissionen des Hafens und der Industrie. Alle drei Städte beziehen auch Scope-2-Emissionen aus der Energienutzung ein und streben eine emissionsfreie Energieversorgung an. Rotterdam und Stockholm zielen auch auf die Senkung von Scope-3-Emissionen aus dem Verbrauch von Waren und Dienstleistungen ab. Seattle konzentriert sich hauptsächlich auf die Scope-3-Emissionen des Hafens.

Um die Emissionszusammensetzung der ausgewählten Städte zu verstehen, werden die Emissions-schätzungen (Kasten 1.6) der jeweiligen funktionalen Stadtgebiete (FUA) mit denen der Hamburger Metropolregion verglichen. Das FUA besteht aus der Stadt und den umliegenden lokalen Einheiten, die Teil des Arbeitsmarktes der Stadt sind (Pendlerzone) (Dijkstra, Poelman and Veneri, 2019[35]). FUA sind die detaillierteste geografische Aufschlüsselung, für die Schätzungen der Treibhausgasemissionen für Städte verfügbar sind.

Kasten 1.6 Schätzung der regionalen Treibhausgasemissionen

Die regionalen Emissionen werden auf der Grundlage der Emissions Database for Global Atmospheric Research (EDGAR) der Gemeinsamen Forschungsstelle der Europäischen Kommission (JRC) geschätzt. Sie ordnet die nationalen Scope-1-Treibhausgasemissionen aus allen Sektoren mit Ausnahme der Emissionen aus Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft anhand von etwa 300 Proxys für 26 Hauptsektoren den Standorten zu, die je nach Art der Technologie und der Brennstofftypen der Internationalen Energieagentur (IEA) gemäß den IPCC-Leitlinien zur Berichterstattung weiter in Untersektoren unterteilt werden. Die Standorte der Emissionen werden anhand verschiedener Quellen der Raumforschung ermittelt. Die Proxys erfassen einen wesentlichen Teil, aber nicht alle, der lokalen Emissionsfaktoren.

Die Emissionen werden wie folgt zugeordnet:

- **Fertigung** umfasst Emissionen, die den Standortkoordinaten des Werks auf Punktquellen-Rasterkarten zugeordnet sind. Staatliche Verschmutzungs- und Emissionsregister sind die Hauptquellen für Punktstandorte. Ein spezifischer Proxy erfasst die Zementemissionen für die weltweit führenden Zementhersteller auf der Grundlage der Werksstandorte und der jährlichen Material- und Energieträgerströme.
- **Gebäude** umfassen den Energieverbrauch für Gebäude. Die Emissionen werden anhand hochauflösender Kriterien für Bevölkerung und Bebauungsdichte räumlich zugeordnet. Der Datensatz klassifiziert sechs Kategorien menschlicher Siedlungen (überwiegend unbewohnte ländliche Gebiete, verstreute ländliche Gebiete, Dörfer, Städte, Vorstädte und städtische Zentren) anhand von Satellitenbildern. Die Daten werden mit der Bevölkerungsdichte aus aktualisierten Volkszählungen kombiniert. Die Emissionen aus der Verbrennung fossiler Brennstoffe in Haushalten und Gewerbebetrieben werden den Karten mit der Gesamtbevölkerungsdichte zugeordnet. Die geschätzte räumliche Verteilung der Emissionen

kann daher keine subnationalen räumlichen Unterschiede bei den Energieeffizienzstandards von Gebäuden oder Brennstoffarten berücksichtigen.

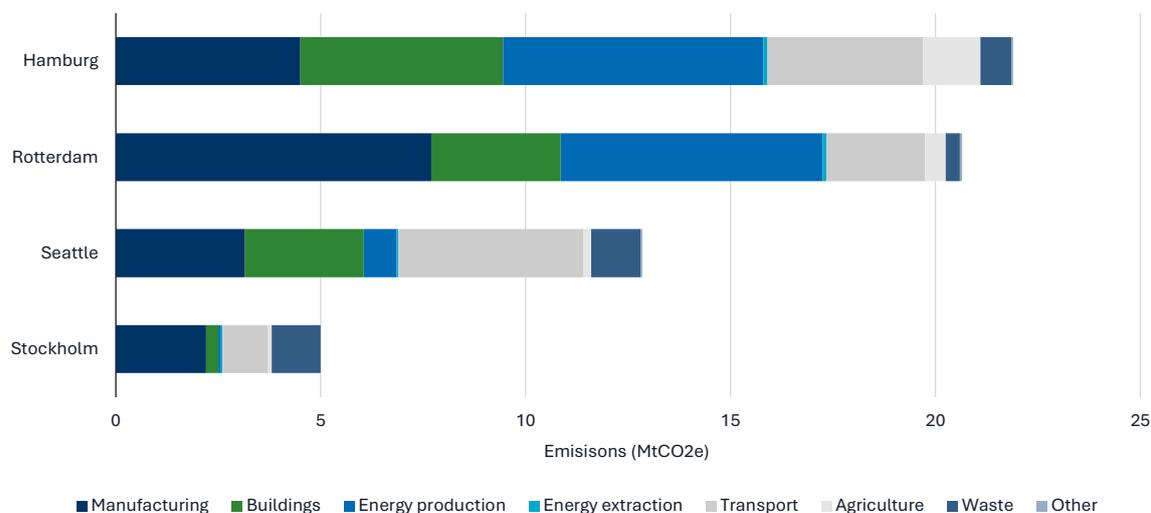
- **Energieerzeugung** umfasst die gesamte Verbrennung von Brennstoffen zur Stromerzeugung in Kraftwerken. Die Emissionen werden gemäß den Datensätzen zur Verteilung der Punktquellen einschließlich der Intensitätsparameter verteilt, wobei zwischen den Brennstoffarten (Kohle, Gas und Öl) unterschieden wird.
- **Energiegewinnung** umfasst Verfahrensemissionen und flüchtige Emissionen bei der Gewinnung und dem Transport fossiler Brennstoffe. Gasabfackelungsaktivitäten werden in Gebieten mit starken Gasabfackelungsaktivitäten wie der Nordseeregion auf Nachlichtdaten erfasst. Die Koordinaten von Kohleminen helfen, die damit verbundenen Emissionen zu lokalisieren und zwischen Stein- und Braunkohle zu unterscheiden.
- **Transport** umfasst den Güter- und Fahrgastverkehr zu Lande, zu Wasser und in der Luft. Für die räumliche Zuordnung von Transportemissionen werden Informationen über Transportrouten verwendet. Proxy-Daten für drei Straßentypen weltweit (Autobahnen, Haupt- und Nebenstraßen, Wohn- und Geschäftsstraßen), die von OpenStreetMap stammen, werden mit nationalen Gewichtungsfaktoren kombiniert, um die Emissionen für jeden Straßentyp zu verteilen. Die Verteilung hängt von der Art der Fahrzeuge ab, die auf den einzelnen Straßentypen verkehren, wobei Daten über die Verkehrsströme nach Straßentypen verwendet werden, soweit sie aus regionalen Quellen verfügbar sind, oder Daten über die Verkehrsströme auf der Grundlage der Bevölkerungsdichte berechnet werden. Ähnliche Daten werden für Eisenbahnen und Binnenwasserstraßen verwendet. Für den Seeverkehr werden Daten zur Verkehrsidentifizierung und Nachverfolgung verwendet. Für den Luftverkehr werden Daten der Internationalen Zivilluftfahrtorganisation (ICAO), Fluginformationen und Flugmuster (Lande-/Startzyklen) verwendet und entsprechend den Routen zugeordnet.
- **Landwirtschaft** umfasst alle landwirtschaftlichen und Fischerei-Aktivitäten, insbesondere Emissionen aus landwirtschaftlichen Böden, der Verbrennung landwirtschaftlicher Abfälle, der enterischen Fermentation und der Güllewirtschaft. Die Quellen werden räumlich anhand der landwirtschaftlichen Bodennutzung, der Bodenart, der lokalen Viehdichte und der Anbauformen zugeordnet, die in den Datensätzen und Karten der Ernährungs- und Landwirtschaftsorganisation (FAO) enthalten sind. Die Emissionen aus der Verbrennung von Brennstoffen in der Landwirtschaft werden für alle Brennstoffe über „ländliche“ Gebiete (meist unbewohnte und verstreute ländliche Gebiete) verteilt, außer für Erdgas, von dem angenommen wird, dass es hauptsächlich in Dörfern verwendet wird. Die Emissionen aus der Verbrennung von Brennstoffen in der Landwirtschaft sind zwar unbedeutend, werden aber beispielsweise auch anhand von Karten der Fischerei geschätzt.
- **Abfall** umfasst Emissionen aus der Abfallverbrennung ohne Energierückgewinnung
- **Sonstige** enthält NO_x - und NH_3 -Emissionen aus der Stickstoffablagerung unter Verwendung von Geodaten, Acker- und Grünlandkarten und Ackerland. Es enthält auch Emissionen aus Bränden fossiler Brennstoffe, die anhand von Daten zur Ölproduktion und zu Kohlebränden geschätzt werden.

Anmerkung: Bevölkerungsbasierte Lückenfüllertechniken werden für Restemissionen verwendet, die nicht lokalisiert werden können, insbesondere im Industrie- und Energiesektor.

Quelle: EDGAR v6 (2018), (European Commission, 2022[36]).

Rotterdam und Hamburg haben vergleichbare geschätzte Scope-1-Emissionen, sowohl was die Menge als auch die sektoralen Beiträge betrifft (Abbildung 1.19), und stehen vor ähnlichen Herausforderungen bei der Reduzierung. Seattle hat aufgrund der Strom- und Wärmeerzeugung geringere Emissionen. Die geschätzten Emissionen Stockholms sind deutlich niedriger, was auch der Grund dafür sein könnte, dass das Ziel der Kohlenstoffneutralität ehrgeiziger gesetzt ist. Stockholm hat sowohl die Stromerzeugung als auch die Wärmeerzeugung in Gebäuden dekarbonisiert, was zum großen Teil auf die Verbrennung von Biomasse in großem Maßstab zurückzuführen ist. Biokraftstoffe reduzieren auch die Emissionen im Straßenverkehr.

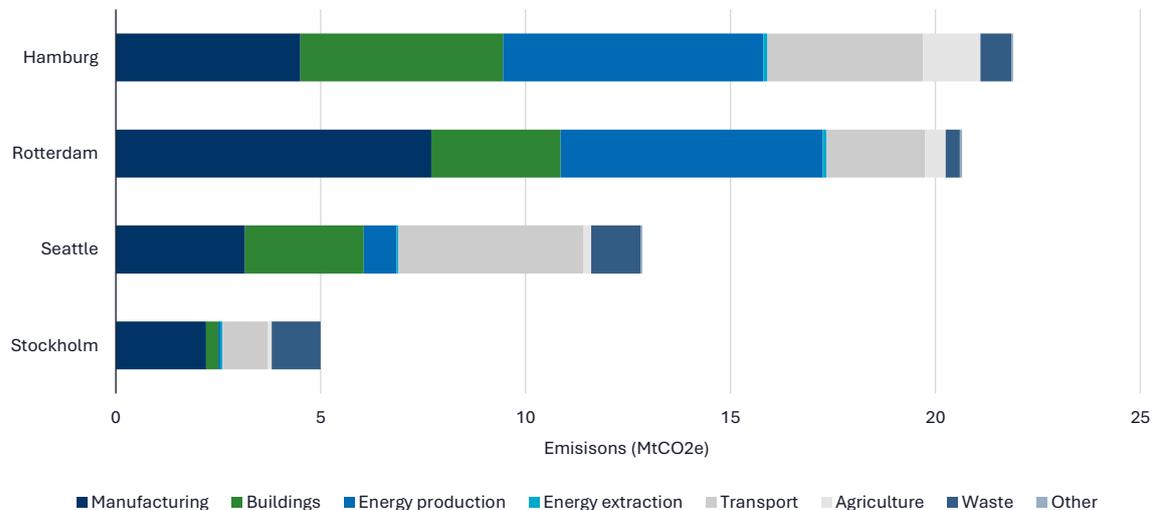
Abbildung 1.19 Die geschätzten Scope-1-Emissionen in den funktionalen Stadtgebieten von Hamburg und Rotterdam sind ähnlich



Quelle: EDGAR v6, (European Commission, 2022[36]).

Die Pro-Kopf-Emissionen Hamburgs scheinen zwischen jenen von Rotterdam und Seattle zu liegen (Abbildung 1.20). Die Pro-Kopf-Emissionen nach Sektoren verdeutlichen, in welchen Sektoren noch größere Herausforderungen bestehen. Zum Beispiel sind die Herausforderungen der Dekarbonisierung im verarbeitenden Gewerbe in Rotterdam größer als in Hamburg. Der Verkehrssektor in Hamburg hat ähnliche Pro-Kopf-Emissionen wie der in Seattle, aber in Stockholm sind sie niedriger und in Rotterdam höher. Die Pro-Kopf-Emissionen aus dem Abfallsektor sind in allen vier Städten ähnlich.

Abbildung 1.20 Die geschätzten Scope-1-Emissionen pro Kopf in den funktionalen Stadtgebieten von Rotterdam und Hamburg sind höher als in Seattle oder Stockholm, 2018



Quelle: EDGAR v6, (European Commission, 2022[36]).

Transport

Zur Dekarbonisierung des Verkehrs schlagen die drei Städte ähnliche Maßnahmen vor. Diese sind:

- **Mobilitäts-Hubs** – Das Hauptziel besteht darin, die Verbindungen zwischen den verschiedenen Verkehrsträgern zu bündeln, um ihre Interoperabilität zu verbessern, wobei der Schwerpunkt auf dem öffentlichen Verkehr, der gemeinsamen Fahrzeugnutzung und der E-Mobilität liegt. Die Idee ist, Verkehrsverbindungen zu bündeln, sodass die Mobilitätsoptionen Fahrgemeinschaften, Elektroautos, gemeinsam genutzte Fahrräder und öffentliche Verkehrsmittel miteinander verbunden werden. Die erwarteten Vorteile sind ein besserer Zugang zu Verkehr und Mobilität in einkommensschwachen Vierteln sowie eine Verringerung der Autonutzung.
- **Elektrifizierung des Verkehrs** – Dazu gehört der Bau von Ladestationen und die Verbreitung von gemeinsam genutzter Elektromobilität in der ganzen Stadt. Seattle kartiert die optimale Verteilung der Ladeinfrastruktur, um eine gleichmäßige Verteilung in der Stadt zu gewährleisten. Stockholm hat sich zum Ziel gesetzt, mindestens 4000 öffentliche Ladepunkte einzurichten. Stockholm plant außerdem die Einführung von Elektro-Lkw für optimierte innerstädtische Lieferungen. Diese werden gleichzeitig auch den Müll einsammeln und so den Verkehr reduzieren.

Es gibt auch Maßnahmen, die für jede Stadt spezifisch sind. Rotterdam setzt beispielsweise einen Schwerpunkt auf die Einrichtung eines Runden Tisches für Wirtschaftsführer, an dem Unternehmen mit insgesamt 110.000 Beschäftigten teilnehmen sollen, um zu erörtern, wie die Mobilität verbessert werden kann, und um sich über bewährte Praktiken auszutauschen. Die Stadt ist an die Unternehmen herangetreten, um gezielte Vereinbarungen über nachhaltigen Pendler- und Geschäftsverkehr mit einer CO₂-Reduktion von mindestens 50 % bis 2030 zu treffen.

Rotterdam und Stockholm konzentrieren sich auch darauf, emissionsfreie Lösungen für die Lieferung von Baumaterialien zu finden und Fahrzeuge für die Anlieferung und Abholung effizienter zu nutzen. Für Stockholm bedeutet dies die Entwicklung eines unterirdischen Netzes und die Nutzung von

Abwassertunneln für den Transport von Baumaterialien per Boot statt per Lkw. Um die Zahl der Kleinlastwagen zu reduzieren, arbeitet Stockholm außerdem mit E-Commerce-Händlern zusammen, um optimale Routen zu den Abgabestellen zu schaffen und so die Zahl der Fahrten zu verringern. Rotterdam hingegen berät sich mit einem Transportdienstleister, um auf einen emissionsfreien innerstädtischen Schwerlasttransport umzustellen. Zu den optimierten Verfahren in der Frachtlogistik gehören Abkoppelpunkte, an denen Lieferfahrzeuge aufbauten, die Container transportieren, gegen leichte Fahrzeuge austauschen, oder der Einsatz von Plug-in-Hybridfahrzeugen (City of Rotterdam, 2020[37]). Rotterdam arbeitet auch daran, die Anzahl der Transportbewegungen von gewerblichen Müllfahrzeugen zu reduzieren.

Gebäude

Um die Emissionen von Gebäuden zu reduzieren, legen die Städte den Schwerpunkt auf Gebäude ohne fossile Brennstoffe, Energieeffizienz und die Beteiligung der Öffentlichkeit.

- **Gebäude ohne fossile Brennstoffe** – Rotterdam arbeitet mit Stadtvierteln, Immobilieninvestoren und Wohnungsbaugesellschaften an individuellen Plänen, um alle Gebäude erdgasfrei zu machen. Die meisten Stadtteile wollen bis 2030 erdgasfrei werden. Dazu gehört der Anschluss von Gebäuden an ein Fernwärmenetz sowie Investitionen in die Isolierung von Gebäuden, in die Klimaanpassung und in Möglichkeiten der Kreislaufwirtschaft. Seattle versucht auch, Gebäudeheizungen von Heizöl weg umzurüsten, indem es die Umstellung von ölbeheizten Häusern auf Strom unterstützt. Derzeit gibt es Empfehlungen für die Umstellung von 18.000 Häusern von Heizöl auf elektrische Wärmepumpen und die Unterstützung bei der Finanzierung von Häusern, die nicht in der Lage sind, die Umstellung selbst vorzunehmen. Stockholm strebt den vollständigen Ausstieg aus fossilem Öl und Kohle durch den Anschluss an Heizwerke mit Fernwärme und den Einsatz von Biokraftstoffen an. Die Stadt Stockholm bietet Immobilieneigentümern Energieberatung an.
- **Energieeffizienz in Gebäuden** – Rotterdam hat viele Programme zur Optimierung der Leistung, z. B. die Installation von begrünten Dächern, Maßnahmen gegen Hitzestress, die Gründung von Pilot-Energiegenossenschaften, die Isolierung von Häusern und die nachhaltigere Gestaltung von Installationen und Beleuchtung. Es ist geplant, 1000 Häuser mit Sonnenkollektoren auszustatten und elektrisches Kochen auszubauen. Seattle zielt darauf ab Immobilieneigentümer zur Energieeffizienz zu beraten. Das Programm Seattle City Lights zielt auf Energieeinsparungen durch Energieeffizienz as a Service (EEaS) ab. EEaS hilft bei der Überwindung von geteilten Anreizbarrieren in Geschäftsgebäuden, wo es wenig Motivation für Eigentümer oder Investoren gibt, Nachrüstungen zu finanzieren, die den Pächtern zugutekommen. Die Pächter zahlen für die Bereitstellung von energiesparenden Investitionen. Mit EEaS können Investoren Projekte mit vorhersehbaren Erträgen finanzieren, Eigentümer generieren eine neue Einnahmequelle, und Pächter nutzen energieeffiziente Räume.
- **Beteiligung der Öffentlichkeit** – Rotterdam hat einen Runden Tisch zum Thema Klima für die Bauwirtschaft eingerichtet und baut eine digitale Plattform zum Austausch von Wissen und Ratschlägen zur Dekarbonisierung von Gebäuden auf. Rotterdam entwirft außerdem eine Toolbox für Immobilienmakler, um Kunden über Möglichkeiten aufzuklären und zu informieren, wie sie erdgasfrei werden und Nachhaltigkeit fördern können. Die Stadt Seattle beabsichtigt, mit Gebäudeeigentümern durch Anreize und technische Unterstützung zusammenzuarbeiten, um ihnen zu helfen, freiwillig Vorreiter zu werden und Leistungsanforderungen schrittweise umzusetzen.

Verbrauchsbedingte Emissionen

Alle drei Städte legen einen gewissen Schwerpunkt auf verbrauchsbedingte Emissionen, mit besonderem Augenmerk auf Lebensmittel und Abfall. Stockholm erwähnt auch Maßnahmen zur Bekämpfung von Emissionen aus dem Luftverkehr.

- **Lebensmittel** – Alle drei Städte suchen nach Möglichkeiten, die Emissionen aus dem Lebensmittelkonsum zu verringern, vor allem durch die Reduzierung von Lebensmittelabfällen. Rotterdam hat Vereinbarungen mit Produzenten und anderen Parteien getroffen, um Abfälle zu vermeiden, indem Mahlzeiten an Sozialrestaurants geliefert werden. Rotterdam führt außerdem eine Pilotstudie durch, um herauszufinden, wie die Stadt die Verbraucherpräferenzen in Richtung pflanzliche Ernährung verändern kann.
- **Kreislaufwirtschaft und Abfallvermeidung** – Rotterdam legt den Schwerpunkt auf die Reduzierung von Textilabfällen und hat daher eine Kleiderbörse eröffnet, in der gebrauchte Kleidung gehandelt wird. Rotterdam prüft auch die Entwicklung eines Kreislaufkaufhauses, das es den Verbrauchern erlaubt, nachhaltige Marken an einem Ort zu finden. Rotterdam erforscht auch Möglichkeiten für mehr und besseres Recycling von Textilien und entwickelt eine chemische Recyclinganlage für die lokale Aufwertung aussortierter Textilien. Seattle legt den Schwerpunkt auf den Rückbau von Gebäuden und die Einsparung von Baumaterialien. Stockholm entwickelt ein digitales System, um der Öffentlichkeit den Zugang zu Recyclingmaßnahmen zu erleichtern.
- **Luftfahrt** – Stockholm führt eine stadtweite Kommunikationskampagne über die Auswirkungen von Flugreisen und Alternativen dazu durch. Die Stadt erforscht außerdem die effektivsten Kompensationsmöglichkeiten, um die durch Flugreisen verursachten Emissionen zu verringern.

Saubere Energie

Die Städte Rotterdam und Stockholm führen auch separate Klimamaßnahmen durch, um die Nutzung sauberer Energie (Wind und Sonne) in der Stadt zu beschleunigen und die Abhängigkeit von fossilen Brennstoffen zu verringern.

- **Windkraft** – Die Stadt Rotterdam arbeitet an der Beschleunigung von vier Windenergieprojekten und es läuft eine Konsultation für das Nordseeprogramm (2022–2026) mit dem Ziel, bis 2030 zusätzlich 10 GW Strom durch Wind auf See zu erzeugen. Wichtig ist, dass die Windenergie an die nationale Plattform angeschlossen wird. Er könnte dazu dienen, den regional konzentrierten Strombedarf für industrielle Zwecke zu decken, einschließlich der Wasserstoffproduktion (siehe unten). Stockholm plant, Strom aus Windkraftanlagen über langfristige Verträge zu kaufen.
- **Solarenergie** – Die Stadt Rotterdam hat ein Pilotprojekt zur Installation von Photovoltaikanlagen auf Hausdächern durch Energiegenossenschaften gestartet, mit dem Ziel, bis 2025 90 Solardächer zu installieren. Dazu gehören Wissensaustausch, Vernetzung, Entwicklung und Management von Projekten. Für Wohngebiete plant die Stadt die Erforschung und Entwicklung von Verbindungen zwischen der Erzeugung, Speicherung und Verteilung von Solarstrom. Das Projekt zielt auch darauf ab, alle geeigneten Dächer von Unternehmen und Parkhäusern mit Solarzellen auszustatten. Mitte 2021 startete ein Subventionsprogramm, das es Unternehmern ermöglicht, eine Bewertung der Dachkapazität für Solarmodule zu nutzen. In Stockholm deckt die potenzielle Stromerzeugung mit

Photovoltaikanlagen schätzungsweise mehr als 10 % des Bedarfs der Stadt. Ziel ist es, die Solarproduktion im Vergleich zu 2018 um 100 % zu steigern.

- **CCS** – Die Stadt Stockholm will die Nutzung von Bioenergie in Verbindung mit Kohlenstoffabscheidung und -speicherung (BECCS) einführen, um netto negative Emissionen zu erreichen. In Stockholm wäre die Kraft-Wärme-Kopplungsanlage, die für die Fernwärme genutzt wird, für CCS geeignet. Es ist geplant, in dem Kraftwerk einen Versuch durchzuführen.

Der Hafen und die Industrie

Rotterdam

Der Hafen von Rotterdam gehört in Bezug auf den Frachtumschlag und die verschifften Container zu den weltweit 15 größten. Die wirtschaftlichen und kulturellen Wurzeln der Stadt sind eng mit dem Hafen verbunden (OECD, 2016[38]). Im Jahr 2018 trug der Hafen von Rotterdam 6,2 % zur Wertschöpfung der niederländischen Wirtschaft bei (Port of Rotterdam, 2018[39]). Der Hafen und das Industrie-Cluster bieten direkt und indirekt fast 400.000 Menschen Beschäftigung (Energieswitch, 2019[32]). Das Ziel der Stadt Rotterdam ist es, der nachhaltigste Hafen der Welt zu werden. Der Runde Tisch von Hafen und Industrie zum Thema Klima umfasst die Behörde des Hafens von Rotterdam, Energieunternehmen, die Gemeinde und die Provinzen von Südholland, den Natur- und Umweltverband von Südholland, Unternehmen, die den Industriekomplex des Hafens von Rotterdam bilden, sowie andere Regierungs- und Wissenseinrichtungen.

Der Runde Tisch von Hafen und Industrie zum Thema Klima hat Phasen und Ziele für die Dekarbonisierung des Hafens und der Industrie festgelegt. Sie betreffen Effizienzmaßnahmen, die Umstellung von fossilen Brennstoffen auf nachhaltige Energiequellen und die Schaffung von Wirtschafts- und Beschäftigungsmöglichkeiten, die Rotterdam in eine starke Wettbewerbsposition bringen.

Der Runde Tisch von Hafen und Industrie zum Thema Klima hat eine Investitionsagenda entwickelt, die zwei Hauptprojekte umfasst:

- **Das Cluster Energy System (CES)** identifiziert die für den Übergang notwendige Schlüsselinfrastruktur, einschließlich Wasserstoffinfrastruktur, Windparks und CCS-Infrastruktur mit mehreren Pipelines (Kasten 1.7).
- **Das Data Safehouse** ist ein Informationsaustausch zwischen großen Industrieunternehmen und Stromverteilungsnetzbetreibern zur Vorbereitung der Elektrifizierung des industriellen Energiebedarfs. Das Ziel ist es, den Netzbetreibern ein Verständnis davon zu vermitteln, wie viel zusätzlicher Strom benötigt wird, um Investitionen effizient zu planen und die Bedürfnisse der Unternehmen bei der Umstellung auf erneuerbare Energien zu erfüllen.

Die Projekte sind auch mit einer **Beschleunigungsplattform** verknüpft, die Unterstützung bei der Suche nach Finanzmitteln und der Beseitigung von Hindernissen in Gesetzen und Vorschriften bieten soll. Die Plattform zielt darauf ab, die Umsetzung von Projekten in den Bereichen Wasserstoff, industrielle Elektrifizierung, industrielle Restwärme und Kreislaufverfahren zu beschleunigen.

Kasten 1.7 Die sechs im Rahmen der Cluster-Energiestrategie (CES) in Rotterdam identifizierten Projekte

- Der **Pipelinekorridor** (*Delta-Korridor*), der Pipelines für Wasserstoff, CO₂, Flüssiggas (LPG) und möglicherweise Rohstoffe für die Kreislaufwirtschaft vorhalten wird. Der Schwerpunkt des Projekts liegt auf der Stärkung der Infrastruktur von Rotterdam über Moerdijk/Geertruidenberg nach Geleen und der Verbindung nach Nordrhein-Westfalen.
- **Infrastruktur für den Transport und die Speicherung von CO₂** (*Die Porthos-Projekte*) in erschöpften Gasfeldern unter der Nordsee. Diese würde den Hafen über eine Pipeline mit einer Kompressorstation verbinden und dann in ein leeres Offshore-Gasfeld führen. Wenn diese in Betrieb ist, werden dort 15 Jahre lang jährlich 2,5 Mio. Tonnen CO₂ gespeichert, was fast 2 % der niederländischen Emissionen entspricht.
- **Bau einer Wasserstoff-Hauptleitung** (*HyTransPort.RTM-Pipeline*) durch das Hafengebiet. Die lokale Produktion, der Import großer Wasserstoffmengen und der Transit ins Hinterland werden integriert. Dieses Projekt wurde von Gasunie und der Hafenbehörde von Rotterdam entwickelt.
- **Infrastruktur für die Produktion und den Transport von kohlenstoffarmem Wasserstoff** (*H-vision*), der als Brennstoff in der Industrie verwendet werden soll. Es sind drei Produktpipelines für die Versorgung mit Wasserstoff, für den Auslauf von CO₂ und für den Transport von kohlenstoffarmem Wasserstoff zu den industriellen Verbrauchern geplant. H-vision strebt auch zwei Wasserstoffproduktionsanlagen an (Anlage 1 im Jahr 2027 und Anlage 2 im Jahr 2032). Das Projekt zielt darauf ab, die Emissionen bis 2032 um 2,7 Mio. t jährlich zu reduzieren. 90 % des kohlenstoffarmen Wasserstoffs sollen mit Restmethan, z. B. aus Raffinerien, hergestellt werden, ergänzt durch einen kleinen Anteil an Erdgas (H-vision, 2017[40]).
- **Pipeline für den Transport von Wärme** (*Warmtelin Q*), die vom Hafen und der Industrie in Rotterdam erzeugt wird, zu Wohnungen, Büros und Unterglasgartenbau in der Region.
- **Zusätzlich anlandender Strom aus Offshore-Windparks** in Verbindung mit Plänen der Netzbetreiber zur Schaffung höherer Kapazitäten. Dies sollte den benötigten grünen Strom für die Produktion von grünem Wasserstoff und die Elektrifizierung der Industrie liefern.

Quelle: (Port of Rotterdam, 2021[41]).

Der Hafen will auch erneuerbare Energie erzeugen. Nach Angaben des Runden Tisches von Hafen und Industrie zum Thema Klima liegt das zusätzliche Solarenergiepotenzial bei 130–150 MWp. Der Hafen hat sich verpflichtet, Solarmodule auf den Dächern von Gewerbebetrieben innerhalb des Hafengebiets zu installieren. Der Hafen beabsichtigt auch, einen schwimmenden Solarpark zu errichten, was jedoch aufgrund finanzieller Hindernisse derzeit verschoben wird.

Die industriellen Verfahren in Rotterdam sollen elektrifiziert werden, um Erdgas zu ersetzen. Das Field Lab Industrial Electrification erlaubt es der Industrie, Erkenntnisse über die mögliche Elektrifizierung zu gewinnen, neue Technologien zu testen und sie für die Umsetzung bereit zu machen. Darüber hinaus sollen die Heizung aus Restwärme in der Industrie, Wärme aus geothermischer Energie und andere lokale Wärmequellen die Unternehmen in der Region Zuid-Holland mit Wärme versorgen.

Auch der Hafen von Rotterdam hat Pläne für die Kreislaufwirtschaft. Der Hafen will Restströme, Biomasse und abgeschiedenes CO₂ in industriellen Prozessen nutzen. Die Industrie im Rotterdamer Hafen wird letztlich auf nachhaltigen und erneuerbaren Kohlenstoffmaterialien basieren, vor allem auf nachhaltiger Biomasse und Wasserstoff. Neue Fabriken und in Clustern organisierte Wertschöpfungsketten werden den Übergang bei Rohstoffen unterstützen.

Der Mangel an Arbeitskräften ist eine der größten Herausforderungen für den Hafen und die Industrie, insbesondere der Mangel an technischem Personal. Rotterdam strebt die Umsetzung einer Schulungsagenda an, um das für die Energiewende erforderliche Qualifikationsangebot zu erhöhen, koordiniert durch die Rotterdamer Vereinbarung über Lehrlingsausbildung.

Seattle

Der Hafen von Seattle hat seine eigenen Klimaziele und -pläne. Der Hafen strebt an:

- **Bis 2030** die Scope-1- und Scope-2-Emissionen um 50 % gegenüber 2005 zu reduzieren und **bis 2050** kohlenstoffneutral oder kohlenstoffnegativ zu werden.
- **Bis 2030** die Scope-3-Emissionen um 50 % unter das Niveau von 2007 und bis 2050 um 80 % unter das Niveau von 2007 zu senken.

Das Aktionsszenario identifiziert Strategien zur Reduzierung von Emissionen, die direkt und indirekt vom Hafen kontrolliert werden.

Verringerung der Scope-1-Emissionen

Um eine sofortige Emissionsreduzierung in der Bootsflotte des Hafens zu erreichen, ist zunächst geplant, auf nicht erdölbasierte Kraftstoffe wie Altspeiseöl und -fett oder andere erneuerbare Rohstoffe umzusteigen. Der derzeitige Schwerpunkt des Hafens liegt auf erneuerbarem Diesel, da dieser leichter verfügbar ist als erneuerbares Benzin. Das Ziel ist es, auf Elektrofahrzeuge umzusteigen, wobei der Schwerpunkt zunächst auf leichten Fahrzeugen liegt, während die Entwicklungen bei schweren Elektrofahrzeugen beobachtet werden. Der Hafen wird sich auf diesen Übergang vorbereiten, indem er die erforderlichen Ladestationen installiert. Gleichzeitig streicht der Hafen nicht ausgelastete Fahrzeuge aus dem Fuhrpark und maximiert die Nutzung pro Fahrzeug.

Um die Abfallmenge zu reduzieren, will der Hafen die Trennung von häufigen Wertstoffen und organischen Stoffen maximieren, die Erzeugung fester Abfälle minimieren und das spezialisierte Recycling ausbauen. Der Hafen wird alle drei Jahre Abfall-Audits durchführen, um die angemessene Abfallentsorgung zu bewerten und standortspezifische Reduzierungspläne zu entwickeln. Ziel ist es auch, Gegenstände zu identifizieren, die potenziell wiederverwertbar sind, aber vom Recyclingprogramm der Stadt nicht akzeptiert werden, wie z. B. Altmetalle, Baumaterialien, Elektronik und Möbel, und wenn möglich individuelle Recyclingprogramme anzubieten.

Reduktion der Scope-2- und Scope-3-Emissionen

Der Hafen ist sich bewusst, dass er zwar Einfluss auf die Emissionen im Seeverkehr hat, aber keine direkte Kontrolle darüber. Dazu gehören die Emissionen von Schiffen, Hafenschiffen, Zügen und anderen Geräten, die 94 % der Scope-2- und Scope-3-Emissionen des Hafens ausmachen. Der Hafen stellt sich vor, wie der Sektor in einer kohlenstoffneutralen Wirtschaft aussehen wird, und bereitet die notwendige Infrastruktur vor, um bereit zu sein, wenn der Übergang stattfindet. Der Hafen ermutigt die Akteure, die Community, die Industrie und die Regierung, sich auf die kohlenstoffneutrale Vision einzustellen. Das

Ziel ist es, diesen Akteuren durch Partnerschaften, Programme und Mietbedingungen für Hafenanlagen Orientierung zu geben und Entscheidungen zu beeinflussen. Der Hafen ist bereit, eine Führungsrolle zu übernehmen, indem er sich für neue Technologien und Kraftstoffe einsetzt, Pilotprojekte unterstützt und klein dimensionierte Null-Emissionstechnologien in hafeneigenen Arbeitsschiffen und Frachtumschlagsgeräten einführt. Der Hamburger Hafen hat außerdem eine Vision für die Klimaneutralität entwickelt und sich zum Ziel gesetzt, diese im Hafenbetrieb bis 2040 zu erreichen, wobei eine Überwachung der Emissionsreduzierung auf dem Weg zu diesem Ziel geplant ist.

Der Hafen ermutigt außerdem Start-ups in hafenbezogenen Branchen, mit dem maritimen Innovationszentrum des Hafens zusammenzuarbeiten, um die Emissionen im maritimen Sektor zu reduzieren. Er wird auch die Entwicklung von Arbeitskräften und die Schulung für den Betrieb und die Wartung von emissionsfreier Schiffsausrüstung unterstützen.

Der Hafen hat sich zum Ziel gesetzt, bis 2030 die notwendige Infrastruktur für emissionsfreie Schiffe zu schaffen. Diese Infrastruktur umfasst neue Kapazitäten für emissionsfreie Hafenmanöverboote, Ladeinfrastruktur, Betankungsbedarf und Infrastruktur für emissionsfreie Lastwagen. Bis zur Entwicklung emissionsfreier Schiffe ist eine kontinuierliche Verbesserung der Schiffseffizienz erforderlich. Die Effizienzgewinne können durch verbesserte Schiffskonstruktionen und Betriebspraktiken erzielt werden.

Der Hafen wird auch die Einführung von emissionsfreien Frachtumschlagsgeräten bis 2050 unterstützen, was den Ersatz von dieselbetriebenen Geräten einschließt. Der Hafen wird sich auch mit den Kreuzfahrtgesellschaften absprechen, um Programme zum Kohlenstoffausgleich zu bewerten.

Andere Scope-3-Emissionen, die der Hafen in Angriff nimmt, sind die Emissionen der Hafearbeiter. 53 % der Hafenmitarbeiter pendeln individuell mit dem Auto. Um diese Emissionen zu reduzieren, wird der Hafen flexible Arbeitsregelungen fördern, um die Zahl der Pendeltage zu verringern. Außerdem wird er alternative Verkehrsmittel durch subventionierte Fahrgemeinschaften, Bike-Sharing oder organisierte Fahrgemeinschaften fördern.

Zusammengefasst: Lehren aus den Vergleichsstädten

Aus den Erkenntnissen der Vergleichsstädte ergeben sich Empfehlungen für die Koordinierung und Erleichterung von Klimaschutzmaßnahmen in Hamburg. Diese sind:

- **Beteiligung von Unternehmen und Öffentlichkeit an der Entscheidungsfindung.** Dies kann in Form von Runden Tischen für bestimmte Sektoren geschehen. Experten für die jeweiligen Sektoren und Themen sind ebenfalls Teil des Verfahrens zur Entscheidungsfindung. Sie kann auch in Form von Online-Plattformen, Informationskampagnen und Feedback von Bürgern erfolgen. Die Einbeziehung von Bürgern, Geschäftsinhabern und lokalen Akteuren verringert den Widerstand gegen den Übergang. Eine solche Beteiligung muss so schnell wie möglich organisiert werden, da sie die Zeit für die Vorbereitung von Entscheidungen verlängern kann.
- **Eine langfristige Vision** ist unerlässlich. Dadurch wird sichergestellt, dass die langfristigen Investitionen, die Unternehmen tätigen werden, mit den Klimaneutralitätszielen übereinstimmen. Rotterdam hat dies durch die Entwicklung einer Investitionsagenda für den Hafen und die Industrie erreicht. Seattle demonstriert seine langfristige Vision mit den emissionsfreien Infrastrukturinvestitionen des Hafens.
- **Kontinuierliche Nachverfolgung und Bewertung von Maßnahmen.** Seattle führt mehrere Audits für die verschiedenen Klimamaßnahmen durch, die die Städte und Häfen ergreifen. Dies erlaubt eine kontinuierliche Neubewertung und Verbesserung der Ambitionen und Klimamaßnahmen.

- **Verringerung der Scope-2- und Scope-3-Emissionen** durch die wichtigsten Akteure.
- **Vermeidung zunehmender Ungleichheiten** innerhalb der Stadt. Seattle kartiert die optimale Verteilung von Stromtankstellen, um sicherzustellen, dass einkommensschwächere Stadtteile nicht abgehängt werden. Rotterdam bietet ein Subventionsprogramm für die Installation von Solarmodulen an, das den meisten Bürgern die Teilnahme erlaubt.

Die positiven Nebeneffekte des Klimaschutzes optimal nutzen

Lokale politische Maßnahmen zum Klimaschutz tragen nicht nur zur Erreichung globaler, nationaler und regionaler Klimaziele bei, sondern können auch das Wohlergehen von Einwohnern, Arbeitnehmern und Unternehmen, insbesondere in Städten, in einer Vielzahl von Dimensionen erheblich verbessern (Kasten 1.8). Aus der Sicht der lokalen Wirtschaft beeinflussen Wohlstandsgewinne, z. B. durch weniger Verkehrsstaus oder sauberere Luft, die Standortentscheidungen von Arbeitnehmern und Unternehmen und haben daher das Potenzial, Hamburg für Unternehmen und Arbeitnehmer attraktiver und wettbewerbsfähiger zu machen. Mit der Gesundheit verbessern sich auch die wirtschaftlichen Ergebnisse – zum Beispiel steigert eine geringere Luftverschmutzung die Produktivität (Dechezleprêtre, Rivers and Stadler, 2019[42]). Luftverschmutzung verringert die Leistung bei Aufgaben, die ein hohes Qualifikationsniveau erfordern, wie die Leistung von Investoren an der New Yorker Börse (Heyes, Neidell and Saberian, 2016[43]). Gute Erreichbarkeit von Arbeitsplätzen und wichtigen Einrichtungen von der Wohnung aus, zum Beispiel mit Mobilitätsdiensten auf Abruf, spart Reisezeit und macht das Pendeln weniger anstrengend. Eine komfortablere Nachbarschaft mit solchen Merkmalen würde qualifizierte Arbeitskräfte noch mehr anziehen. Lokale politische Maßnahmen für den Klimaschutz können diese positiven Nebeneffekte liefern.

Diese Vorteile für das Wohlbefinden überwiegen in der Regel gegenüber den Kosten der lokalen Klimaschutzmaßnahmen. Mehrere Studien haben ergeben, dass allein die positiven Nebeneffekte für die Luftqualität einen großen Teil der Kosten der politischen Maßnahmen ausgleichen (Karlsson, Alfredsson and Westling, 2020[44]). Für die ostasiatische Region wurden die positiven Nebeneffekte des Klimaschutzes in Bezug auf die menschliche Gesundheit auf bis zu 6 % des BIP geschätzt, wenn man die Auswirkungen auf die Klimaanpassung mit einbezieht. Dies übersteigt die geschätzten Kosten des Klimaschutzes von 2 % des BIP (Xie et al., 2018[45]). Viele der Vorteile für das Wohlergehen fallen lokal und, im Gegensatz zu den Klimavorteilen, sofort an. Sie können daher die politische Ökonomie von Klimamaßnahmen erheblich verbessern, indem sie die Perspektive des Gefangenendilemmas überwinden und ein starker Motivator für lokale und regionale Maßnahmen sind, auch für die Wirtschaft.

Der Fahrgastverkehr steht in engem Zusammenhang mit Verkehrsstaus, Luftverschmutzung, Lärmbelästigung und Autounfällen, insbesondere in städtischen Gebieten. Die sozialen Kosten der privaten Autonutzung in Städten sind schätzungsweise 6–7 Mal höher als die Kosten, die von den einzelnen Autobesitzern und -fahrern getragen werden. (van Dender, 2019[46]). Der hohe Anteil der externen Kosten aufgrund von Staus unterstreicht die großen Vorteile, die sich aus der Verringerung der Autonutzung ergeben (Tabelle 1.4). Im Vergleich zu konventionellen Fahrzeugen emittieren leichte Elektrofahrzeuge nur 18–19 % weniger PM_{2,5} aus Nichtabgasquellen (OECD, 2020[47]), was bedeutet, dass die Elektrifizierung allein die Luftverschmutzung nicht beseitigen kann, was zum Teil auf die Verschmutzung durch die Radreibung zurückzuführen ist. Die Dekarbonisierung des Fahrgastverkehrs durch die Verringerung der individuellen Autonutzung hat also ein hohes Potenzial für die Schaffung von positiven Nebeneffekten. Dies kann geschehen, indem öffentliche Verkehrsmittel attraktiver gemacht und öffentliche Räume fußgänger- und fahrradfahrerfreundlich gestaltet werden. Wie im Folgenden dargelegt wird, kann auch das Ride-Sharing einen wichtigen Beitrag leisten. Ride-Sharing geht weit über Car-Sharing hinaus: Es bezieht

sich auf die Nutzung von Autos durch mehrere Fahrgäste mit unterschiedlichen Start- und Zielorten. Wie im Folgenden dargelegt wird, sollte Ride-Sharing die individuelle Autonutzung ersetzen, was zur Abschaffung der täglichen individuellen Autonutzung führt, wie weiter unten erläutert wird.

Tabelle 1.4: Schätzungen der externen Grenzkosten der Autonutzung

Niedrige und hohe Schätzungen der externen Grenzkosten der Autonutzung in Europa (Preise von 2010, Benzin- Pkw)

	Euro-Cent pro Fahrzeugkilometer		%	
	Niedrig	Hoch	Niedrig	Hoch
Klimaveränderung	1,5	3,3	4,8	11,6
Umweltverschmutzung	0,4	1,1	1,5	3,9
Verkehrsstaus	18,5	18,5	71,2	64,9
Unfälle	4,8	4,8	18,5	16,8
Verschleiß und Abnutzung	0,8	0,8	3,1	2,8
Lärm	0,0	0,5		
GESAMT	26	28,5	100,0	100,0

Quelle: (van Dender, 2019[46]).

Weitere Vorteile einer geringeren Autonutzung ergeben sich aus einem geringeren Energieverbrauch, insbesondere im Zusammenhang mit der wahrscheinlich eher regionalen Festlegung der Strompreise in der Zukunft, und geringeren indirekten Emissionen. Der Verkehrssektor, einschließlich des Verkehrs und des Güterverkehrs innerhalb Hamburgs, ist der größte Energieverbraucher in Hamburg (Abbildung 1.7), und die Autonutzung wird wahrscheinlich den größten Anteil daran haben. Elektrofahrzeuge (EV) erhöhen die Nachfrage nach Ökostrom. Die Lebenszyklusemissionen von Elektrofahrzeugen sind ebenfalls wichtig. Daher ist die Verringerung der Anzahl der Autos auf den Straßen ein solider Ansatz, um den Verkehrssektor grundlegend zu dekarbonisieren. Eine geringere Energienachfrage ist eine wichtige Priorität auf dem Weg zu Netto-Null-Emissionen.

Kasten 1.8 Positive Nebeneffekte lokaler politischer Maßnahmen zum Klimaschutz

Verringerung der Luftverschmutzung

Einatembare Feinstaubpartikel (PM_{2,5}) verursachen in den OECD-Ländern jährlich etwa 422.000 vorzeitige Todesfälle und einen Wohlfahrtsverlust von etwa 3 % des BIP. Zu den wichtigsten Auswirkungen gehören Herz-Kreislauf- und Atemwegserkrankungen wie Schlaganfall und COVID-19. Sie beeinträchtigt die Gesundheit von Kindern am stärksten (WHO, 2018) und verursacht auch Altersdemenz (Bishop, Ketcham and Kuminoff, 2018[48]). Die Bildungsergebnisse von Kindern, die einer höheren Luftverschmutzung ausgesetzt sind, sind erheblich und dauerhaft schlechter (Heissel, Persico and Simon, 2019[49]). Außerdem verringert die Luftverschmutzung die Produktivität von Arbeitnehmern, was sich in Krankheiten, aber vielleicht auch in der kognitiven Leistungsfähigkeit widerspiegelt (Dechezleprêtre, Rivers and Stadler, 2019[42]). Die Steigerung der aktiven Mobilität

reduziert Krankheiten und Emissionen mit einem Nutzen-Kosten-Verhältnis von etwa 11:1 (Chapman et al., 2018[50]).

Verringerung der Lärmbelastung

Chronische Lärmbelastung, die über dem Standard der WHO liegt, verursacht weltweit 12.000 vorzeitige Todesfälle pro Jahr. 6,5 Mio. Menschen leiden unter chronischen Schlafstörungen und 22 Mio. Menschen unter den belastenden Folgen der anhaltend starken Lärmbelastung durch Verkehr oder Industrie (EEA, 2020[51]). Die Lärmbelastung wirkt sich auch auf die Ergebnisse der Patienten und die Leistung des Personals in Krankenhäusern aus und beeinträchtigt die kognitiven Leistungen von Schulkindern (Basner et al., 2014[52]). Die Elektrifizierung von Fahrzeugen und die Förderung des Fuß- und Radverkehrs können die Lärmbelastung deutlich verringern.

Verringerung von Staus

Zu den Kosten von Verkehrsstaus gehören Zeitverluste sowie Produktivitätseinbußen durch höhere Kosten beim Austausch von Waren und Dienstleistungen, insbesondere in hochproduktiven, funktionalen Stadtgebieten. Staus behindern die sozioökonomische Entwicklung der Region und erhöhen die Kosten der Geschäftstätigkeit. Die Kosten in Volkswirtschaften mit hohem Einkommen werden in Europa auf 1 % und in den USA auf 0,7 % bis 0,9 % geschätzt. Die Städte in Ländern mit mittlerem Einkommen sind aufgrund des weniger entwickelten öffentlichen Verkehrs wesentlich stärker überlastet.

Gesünderes Leben durch aktive Mobilität, Verkehrssicherheit und besser isolierte Gebäude

Wenn alle Londoner täglich 20 Minuten zu Fuß gehen oder mit dem Fahrrad fahren würden, könnten schätzungsweise bis zu etwa 496,4 Mio. £ an öffentlichen Gesundheitsausgaben eingespart werden. In 106 europäischen Städten wurden durchschnittlich 11,5 km provisorische Fahrradspuren pro Stadt gebaut und jeder Kilometer könnte den Radverkehr um 0,6 % steigern. Jeder Kilometer Radweg bringt einen jährlichen Gesundheitsnutzen von etwa 2 Mio. USD, sodass sich die Investition oft schon in weniger als einem Jahr auszahlt. Politische Maßnahmen zur aktiven Mobilität erhöhen auch die Verkehrssicherheit. Der gesundheitliche Nutzen von Subventionen für Investitionen in die Energieeffizienz von Gebäuden in Neuseeland ist schätzungsweise so hoch, dass sich die Kosten amortisieren (Grimes et al., 2012[53]). Bei Energiearmut übersteigt der gesundheitliche Nutzen die Kosten der Dachbodendämmung um ein Vielfaches und entspricht fast den Kosten der Wanddämmung (Frontier Economics, 2017[54]).

Quelle: (OECD, 2021[15]).

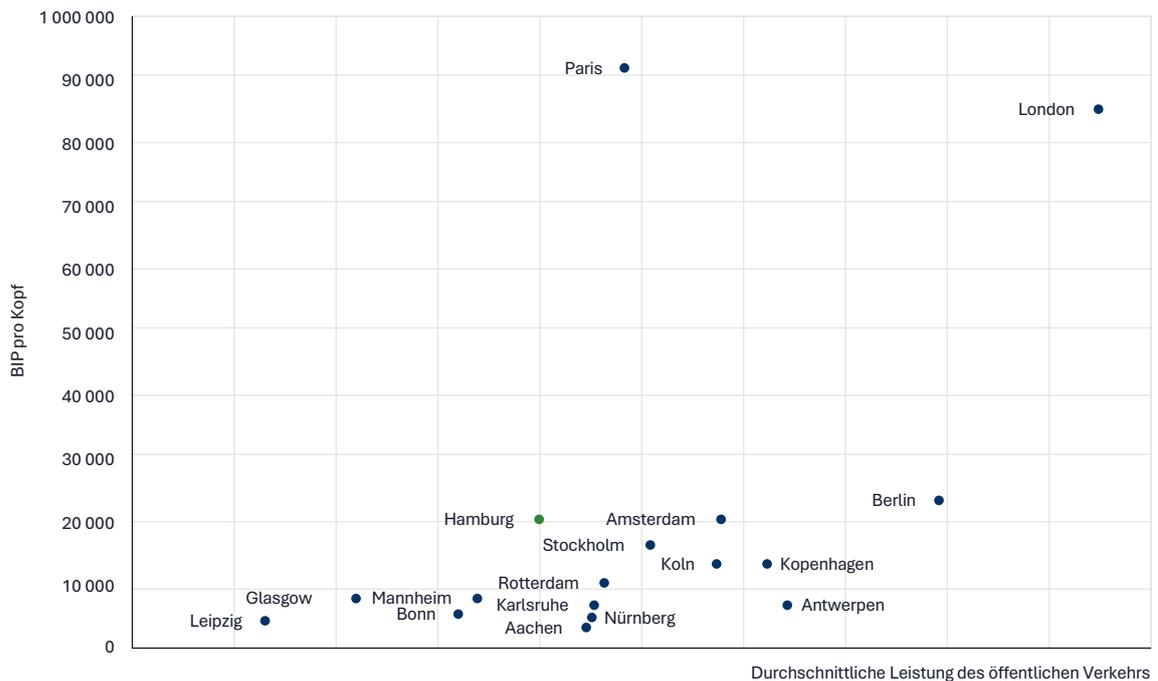
Nutzung der positiven Nebeneffekte verminderter individueller Autonutzung durch Ride-Sharing

Der Ausbau des öffentlichen Nahverkehrs ist eine gute Möglichkeit, die Abhängigkeit vom Auto zu verringern. Der Zugang für Einwohner in der Metropolregion Hamburg ist weniger gut als in manchen anderen Städten (Abbildung 1.21). Dies spiegelt möglicherweise nicht die Unterschiede in der Qualität der öffentlichen Verkehrsmittel wider, sondern vielmehr das Ausmaß, in dem ländliche Gebiete mit geringer Dichte Teil der großstädtischen Arbeitsweggebiete sind. Die Metropolregion Hamburg umfasst solche Gebiete mit geringer Bevölkerungsdichte in großem Umfang. Gebiete mit geringer Dichte sind in der Regel weniger gut mit öffentlichen Verkehrsmitteln erschlossen. In der Tat kann es kostspielig sein,

Linienbusse und U-Bahnen in ausreichendem Umfang einzurichten, vor allem in Gebieten mit geringerer Bevölkerungsdichte, wie etwa in den Vorstädten. Die Nutzung der positiven Nebeneffekte, die sich aus der geringeren Nutzung des eigenen Autos ergeben, erfordert daher ein umfassendes Paket politischer Maßnahmen, das die Wohnungspolitik, die Stadtplanung und ein Verkehrssystem umfasst, das die Zugänglichkeit verbessert.

Abbildung 1.21 Die Leistung des öffentlichen Verkehrs ist schwächer als in anderen Metropolregionen

Leistung des öffentlichen Nahverkehrs in den Metropolregionen, 2018



Anmerkung: Die ÖPNV-Leistung ist ein Index, der den Wert eins erreicht, wenn alle Einwohner in einem Umkreis von 8 km innerhalb von 30 Minuten von jedem beliebigen Punkt in der Metropolregion Hamburg aus erreicht werden können. Die Metropolregion ist definiert als das Gebiet, in dem die meisten Menschen in die Stadt Hamburg einpendeln. Das Pro-Kopf-BIP (Kaufkraftparität) wird in USD pro Kopf angegeben, mit konstanten Preisen von 2015. Ausführlichere Erläuterungen finden sich im ITF-Bericht „Benchmarking Accessibility in Cities – Measuring the Impact of Proximity and Transport Performance“ von 2019.

Quelle: OECD-Statistiken und ITF.

StatLink 2 <https://stat.link/w3ir9y>

Die städtische Verwaltungsführung wird es den Einwohnern erlauben, von öffentlichen Verkehrsmitteln und Wohngebieten zu profitieren, die in allen Gemeinden desselben Arbeitswegs koordiniert sind, während gleichzeitig der Zugang zu Arbeitsplätzen und Dienstleistungen verbessert, Luftverschmutzung und Staus reduziert sowie Treibhausgasemissionen vermieden werden. Eine dichtere und besser zusammenhängende Wohnbebauung kann dazu beitragen, die Emissionen zu reduzieren und die Zufriedenheit der Bewohner mit dem öffentlichen Verkehr zu erhöhen. Aus den Erfahrungen der OECD-Länder lassen sich Lehren für Reformen der städtischen Verwaltungsführung ziehen (OECD, 2015[55]). Zu den

Empfehlungen gehören die Gründung eines regionalen Planungsverbands, die Einführung digitaler Mobilitätslösungen und die Integration von Wohnungs- und Verkehrsplanung, wie im OECD Territorial Review für die Metropolregion Hamburg (OECD, 2019[29]) dargelegt. Es handelt sich dabei um komplexe Verfahren, die politische Unterstützung, eine wirksame Koordinierung und eine zuverlässige Finanzierung erfordern. Es kann auch gewisse Zeit dauern, bis sich die Vorteile einstellen. So kann die Verdichtung von Stadtteilen mit guter Anbindung an Arbeitsplätze, Dienstleistungen oder öffentliche Verkehrsmittel viele Jahre dauern und daher möglicherweise nicht ausreichen, um bis 2040 Klimaneutralität zu erreichen.

Eine innovative Option sind gemeinsam genutzte Mobilitätsdienste auf Abruf, die von digitaler Technologie unterstützt werden und dazu beitragen könnten, den städtischen Mobilitätsbedarf auf eine Weise zu decken, die Emissionen vermeidet und gleichzeitig den Energieverbrauch senkt und die oben erörterten positiven Nebeneffekte nutzbar macht. Ride-Sharing-Dienste können auf einer einzigen integrierten Plattform betrieben werden, auf der Nutzer Anfragen stellen und ein digitaler Disponent die Fahrzeuge in Echtzeit an die Nachfrage anpasst. Unter Berücksichtigung der Anforderungen der Nutzer und der Verkehrsbedingungen weist das System die Fahrzeuge zu und generiert die optimalen Routen zum Zielort unter Einhaltung der vorgegebenen Zeitvorgaben für alle Nutzer.

On-demand Ride-Sharing-Dienste, die an der Haustür oder an der nächsten Straßenecke verfügbar sind, können die Vernetzung der Bewohner untereinander und die Erreichbarkeit von Arbeitsplätzen oder Dienstleistungen verbessern, insbesondere für Haushalte mit geringem Einkommen und Haushalte in Vorstädten mit geringer Bevölkerungsdichte, die oft weniger gut an den öffentlichen Nahverkehr angebunden sind. Im Optimalfall werden alle individuellen Autofahrten in einem ganzen Ballungsraum durch gemeinsame Nutzung ersetzt, um den CO₂-Ausstoß und andere negative externe Effekte wie Autounfälle, Luftverschmutzung und Lärmbelästigung zu verringern. Die Vorteile von Ride-Sharing können maximiert werden, wenn die Fahrzeuge elektrifiziert sind, da Elektrofahrzeuge (EV) weniger Luftverschmutzung und Lärm aus den Motoren emittieren. Außerdem sind die Betriebskosten von Elektrofahrzeugen niedriger als die von konventionellen Fahrzeugen, da weniger Reparaturen anfallen und die Energieeffizienz höher ist – ein entscheidender Vorteil bei intensiver Nutzung. Die Nutzer können auch stärker von der technologischen Entwicklung (z. B. der Verbesserung der Batterien) profitieren, da gemeinsam genutzte Fahrzeuge häufiger ausgetauscht werden als persönliche Fahrzeuge.

Digital gestütztes Ride-Sharing kann die CO₂-Emissionen deutlich senken. Im Szenario der vollständigen Verdrängung von Bussen und privaten Pkw, wie es beispielsweise für Dublin modelliert wurde (Kasten 1.9), werden die Fahrzeugkilometer und die CO₂-Emissionen erheblich reduziert, selbst wenn Verbrennungsmotoren beibehalten werden, wenngleich das Ausmaß der Veränderung von der Größe und Dichte eines Gebiets, der Infrastruktur und der Flächennutzung abhängt (Tennøy and Hagen, 2020[56]). Im irischen Großraum Dublin zum Beispiel können die CO₂-Emissionen um 42 % gegenüber dem Ausgangswert sinken, wenn alle individuellen Fuhrparks durch gemeinsam genutzte Verkehrsmittel ersetzt werden (ITF, 2018[57]). Natürlich entfallen durch die Elektrifizierung die Scope-1-Emissionen. Die geschätzten Emissionsenkungen sind jedoch immer noch aussagekräftig, wenn es um die erhebliche Reduzierung des Energieverbrauchs geht. Im Fall des Großraums Lissabon war die geschätzte Auswirkung mit 62 % noch dramatischer (ITF, 2015[58]).

Der wichtigste positive Nebeneffekt von Mobility-Sharing-Diensten ist die Verringerung von Staus auf den Straßen und der Luftverschmutzung. Im Großraum Lyon sind der Mangel an öffentlichen Verkehrsmitteln und die fehlende Straßenkapazität für den Pkw-Verkehr von den Außenbezirken ins Zentrum die Hauptursachen für Staus. Ride-Sharing würde dieses Problem entschärfen und die Zufriedenheit der Nutzer erhöhen, indem es die Gesamtzahl der Fahrzeuge auf der Straße verringert. Die Lyon-Studie geht davon aus, dass gemeinsam genutzte Mobilitätsdienste, einschließlich Ride-Sharing, die Verkehrsüberlastung um 48 % reduzieren werden. In Dublin kann die Einführung von gemeinsamer Nutzung zusätzlich

zum bestehenden Schienenverkehr und der Light-Rail-Bahn den lokalen Mobilitätsbedarf mit 98 % weniger privaten Fahrzeugen in diesem Gebiet decken. Die Einführung von Ride-Sharing-Diensten wie Sammeltaxis und Taxibussen in Dublin wird schätzungsweise den gesamten Nahverkehr um 38 % und die Staus um 37 % reduzieren (ITF, 2018[57]).

Die Einführung von Ride-Sharing-Diensten hat auch das Potenzial, den öffentlichen Raum, der derzeit von privaten Autos belegt ist, die oft für längere Zeit geparkt bleiben, erheblich zu öffnen. In einem simulierten Szenario für Lissabon rechnete das ITF vor, dass Sammeltaxis und Minibusdienste zu einer bemerkenswerten Verringerung der für Parkplätze vorgesehenen Gesamtfläche um 95 % führen könnten (ITF, 2015[58]).

Umfrageergebnisse deuten darauf hin, dass 20 % der Autofahrer in Dublin bereit wären, auf Shared Rides umzusteigen. Dieser Anteil ist wesentlich höher, wenn die Öffentlichkeit durch Informationen darüber sensibilisiert wird, wie günstig Ride-Sharing im Vergleich zur derzeitigen privaten Autonutzung ist. Die Umfrageergebnisse für Lyon deuten darauf hin, dass die meisten Bürger bereit sind, Fahrgelegenheiten gemeinsam zu nutzen.

Aus der Sicht der Betreiber ist Ride-Sharing auch kostengünstig. In Dublin wären die Kosten für gemeinsam genutzte Minibusse geringer als der Preis eines Fahrscheins für den öffentlichen Nahverkehr und müssten daher nicht subventioniert werden. On-demand Ride-Sharing könnte zu etwa der Hälfte des Preises der heute angebotenen öffentlichen Verkehrsmittel angeboten werden. Wenn sie in großem Umfang eingeführt würden, um die Wartezeiten zu verkürzen, wäre die geteilte Mobilität für die Bürger wünschenswerter (ITF, 2018[57]). Gemeinsame Nutzung könnte ineffiziente Buslinien ersetzen, zusätzlich zur Nutzung von Privatautos, und als Zubringer für die Bahn dienen.

Kasten 1.9 Ride-Sharing-Modellierung für Dublin

In der ITF-Simulationsstudie für Dublin ersetzen Sammeltaxis und Taxibusse einzelne Autos und Busse, während der Bahn- und Light-Rail-Transit-Service erhalten bleibt. Dieser Ersatz wird anhand der täglichen Mobilitätsmuster im Großraum Dublin modelliert. Shared-Taxi ist ein bequemer On-Demand-Service, bei dem sich maximal sechs Fahrgäste einen Minivan für den Transport von Tür zu Tür teilen. Reservierungen können in Echtzeit vorgenommen werden, und die Fahrzeuge werden jedem Nutzer zugewiesen, wobei das Prinzip der Minimierung der Entfernung beachtet wird, nicht nur für den anfragenden Nutzer, sondern auch für die anderen, die im selben Fahrzeug mitfahren. Wenn ein Shared-Taxi-Fahrzeug nicht besetzt und keiner neuen Fahrt zugewiesen ist, wird es in das nächstgelegene Depot für ungenutzte Fahrzeuge verlagert. Im Rahmen des Modells wird der Fahrpreis für ein Sammeltaxi schätzungsweise 75 % der derzeitigen Fahrzeugkosten betragen, sodass er nie unter 3 EUR fällt.

Der Taxi-Bus-Service ist ebenfalls bedarfsorientiert, verkehrt aber zwischen Straßenecken und verwendet einen Minibus, der zwischen 8 und 16 Fahrgäste aufnehmen kann. Reservierungen für den Taxi-Bus müssen 30 Minuten im Voraus vorgenommen werden. Als Sammeltaxi folgt der Taxi-Bus ebenfalls dynamisch optimierten Routen, die eine effiziente Fahrt zwischen den festgelegten Haltestellen für alle Nutzer gewährleisten. Das Modell geht von der Annahme aus, dass die Taxi-Bus-Tarife 50 % der aktuellen Pkw-Kosten betragen, mit einer Mindestschwelle von 1,50 Euro. Diese Berechnung basiert auf Autokosten von 10 EUR, die durch drei Fahrten pro Tag geteilt und zu den Kraftstoffkosten pro Kilometer addiert werden.

Sammeltaxis und Taxibusse können die größten positiven Auswirkungen auf die Verringerung von Staus und CO₂-Emissionen haben, wenn sie mit öffentlichen Verkehrsmitteln mit großer Kapazität, wie Light-Rail-Bahnen, kombiniert werden. Beide Dienste, die von professionellen Fahrern betrieben werden, bieten die Möglichkeit, entweder direkt und ohne Umsteigen zu fahren oder einen Bahnhof anzusteuern, wenn das Ziel ohne Umsteigen erreicht werden kann (ITF, 2018[57]).

Elektromobilität macht Straßennutzungsgebühren immer wichtiger

Straßennutzungsgebühren werden notwendig, um die Steuern auf fossile Brennstoffe zu ersetzen, wenn die Fahrzeuge mit fossilen Brennstoffen aus dem Verkehr gezogen werden, sowohl um Einnahmequellen zu ersetzen als auch um negative externe Effekte der Fahrzeugnutzung wie Staus, Unfälle und Lärm zu bepreisen. Straßennutzungsgebühren, die zeit- und ortsabhängig sind, können den Preis für externe Effekte effizienter gestalten, insbesondere in städtischen Gebieten, wo die externen Kosten viel höher sind als die heute üblichen Kraftstoffsteuersätze (OECD/ITF, 2019[59]).

Da Elektrofahrzeuge niedrige Betriebskosten haben, könnte die Verbreitung von E-Fahrzeugen die Autonutzung in den Städten verstärken und damit die Verkehrsüberlastung verschärfen. Automatisiertes Fahren trägt zu diesen Risiken bei, da es die Opportunitätskosten der im Auto verbrachten Zeit reduziert. Solche Verbesserungen würden die Kosten der privaten Mobilität senken und die Nachfrage danach erhöhen, und dabei auch die Ausbreitung der Städte fördern. Die großflächige Einführung von Ride-Sharing würde ebenfalls Effizienzgewinne mit sich bringen und müsste daher ebenfalls von Straßennutzungsgebühren begleitet werden. Ohne Straßennutzungsgebühren könnten die effizienteren Ride-Sharing-Mobilitätsdienste dazu führen, dass die Bewohner ihre Mobilitätsnachfrage erhöhen, indem sie beispielsweise weiter von ihrem Arbeitsplatz entfernt wohnen, was die Auswirkungen von Ride-Sharing auf Staus und Luftverschmutzung ausgleichen würde.

Straßennutzungsgebühren können Staugebühren beinhalten (Kasten 1.10). Die politischen Entscheidungsträger müssen entscheiden, welche Straßen erfasst werden sollen. Stockholm hat die Staugebühr seit 2007 eingeführt, um den Verkehr im Zentrum von Stockholm zu verbessern. Ein Fahrzeug wird bei jeder Vorbeifahrt an den Mautsäulen belastet, und zwar werktags zwischen 6:00 Uhr und 18:29 Uhr. Der Preis hängt von der Tages- und Jahreszeit ab und liegt zwischen 11 SEK und 45 SEK, maximal 135 SEK pro Tag und Fahrzeug (Transport Styrelsen, 2022[60]). Obwohl die öffentliche Akzeptanz 2005 bei weniger als 40 % lag, stieg sie nach einer Testphase 2006 auf über 50 % und 2007 nach der offiziellen Einführung auf 65 %. Im Jahr 2011 stieg die öffentliche Unterstützung weiter auf etwa 70 %. Dank der Gebühren ging das Verkehrsaufkommen in der Innenstadt um 16 % und außerhalb des Kordons um mehr als 5 % zurück, was mit einer erheblichen Verkürzung der Fahrtzeit einherging. Was die Auswirkungen auf die Umwelt betrifft, so wurden in der Innenstadt eine Verringerung der Kohlendioxidemissionen (CO₂) um 10 bis 15 %, eine Verringerung der Luftschadstoffe um 10 bis 14 % und eine Verringerung der Stickoxide (NO_x) um 8,5 % festgestellt. In der Region Stockholm sanken die CO₂-Emissionen um 2 bis 3 % (Transport Styrelsen, 2022[60]).

Andere Metropolen in den OECD-Ländern, wie London, Mailand und Singapur, haben ebenfalls Staugebühren eingeführt und erfolgreich Staus, Fahrtzeiten und Luftverschmutzung reduziert (OECD, 2010[61]). Im Fall von Mailand und Singapur wurde dieser Rückgang mit den Emissionen von Fahrzeugen in Verbindung gebracht (OECD, 2019[62]). Die Erfahrungen mit der Londoner Staugebühr zeigen, dass sich die Einstellung gegenüber politischen Maßnahmen zur Verringerung der Autonachfrage nach deren

erfolgreicher Einführung ändert, wenn sich die Vorteile einer geringeren Autonutzung bemerkbar machen (Downing and Ballantyne, 2007[63]).

Der Entwicklung von Nutzungsgebühren sind mehrere Grenzen gesetzt. Dazu gehören die rechtlichen Möglichkeiten der subnationalen Regierungen, solche Gebühren einzuführen und deren Höhe festzulegen, sowie die Zahlungsmöglichkeit und -bereitschaft der Nutzer (OECD, 2019[62]). Diejenigen, die sich alle Kosten leisten können, würden ohnehin weiterhin private Fahrzeuge benutzen. Mit anderen Worten kann eine solche politische Maßnahme negative Verteilungseffekte haben, wenn die besteuerten Personen nicht auf alternative Verkehrsmittel ausweichen können. Daher müssen sie von politischen Maßnahmen begleitet werden, die eine Substitution der privaten Autonutzung erlauben. Öffentliche und gemeinsam genutzte Verkehrssysteme müssen ausreichend zugänglich sein, um die zunehmende Ungleichheit als Folge eines preisbasierten Instruments auszugleichen. Qualitativ hochwertiges Ride-Sharing könnte dazu beitragen, dass mehr gemeinsame Verkehrsmittel zur Verfügung stehen.

Kasten 1.10 Systeme von Straßennutzungsgebühren

Die gebräuchlichste Methode zur Erhebung von Straßennutzungsgebühren ist das kordonbezogene System. Dabei werden die Autofahrer für das Passieren von Mautstationen zur Kasse gebeten, entweder pro Tag oder nach der Anzahl der Vorbeifahrten. In London muss ein Pkw, der mindestens einmal am Tag in das Gebiet der Staugebühr einfährt, 15 £ bezahlen. Das Auto-Pay-System berechnet dem Fahrer die Anzahl der Maut-Tage, die das Fahrzeug innerhalb der Staugebühr-Zone, der Emissionsarmen Zone (LEZ) und der Ultra-Emissionsarmen Zone (ULEZ) gemäß den Emissionsstandards des Fahrzeugs fährt. Es gibt viele weitere Fälle von Rabatten und Ausnahmen. Zum Beispiel erhalten Bewohner der Zone einen Rabatt von 90 %. Fahrzeuge mit neun oder mehr Sitzplätzen, die nicht als Busse zugelassen sind, erhalten einen Rabatt von 100 %. Um den Autoverkehr weiter zu reduzieren, kommen Fuhrparks mit Elektro- oder Wasserstoff-Brennstoffzellen ab 2025 nicht mehr für Rabatte in Frage. Im Jahr 2023, zum 20. Jahrestag dieser politischen Maßnahme, berichtete Transport for London, dass die Staugebühr die Staus um 30 % reduziert und das Gehen und Radfahren um 10 % gefördert hat. Das Amt geht davon aus, dass die Ausweitung der ULEZ auf ganz London im August 2023 eine zusätzliche Reduzierung von 23.000 tCO₂ in den Außenbezirken Londons mit sich bringen wird, mehr als die im Zentrum Londons beobachtete Reduzierung. Die Einnahmen aus der Staugebühr werden zur Finanzierung des öffentlichen Nahverkehrs in London verwendet (Transport for London, 2023[64]).

Ein gebietsbezogenes System ist eine andere Art der Straßennutzungsgebühr. Dabei wird nur den Inhabern einer Genehmigung erlaubt, die Straßen in den gebührenpflichtigen Gebieten während eines bestimmten Zeitraums zu benutzen, für den die Genehmigung gilt. Während bei einem kordonbezogenen System nur diejenigen zur Kasse gebeten werden, die in eine Stauzone einfahren, können bei einem gebietsbasierten System auch die Fahrten innerhalb des Gebiets erfasst werden. In Singapur wurde 1975 das Area Licensing Scheme (ALS) eingeführt. Autofahrer mussten eine im Voraus gekaufte Tageskarte vorweisen, wenn sie zu den morgendlichen und abendlichen Stoßzeiten in die kostenpflichtige Zone im Stadtzentrum einfuhren. Autos, die gemeinsam genutzt werden, und Taxis unterlagen ebenfalls dieser Regelung, während Busse und Motorräder eine Ausnahme erhielten. Durch die Einführung der ALS verringerte sich der Anteil der Fahrzeuge, die in die gebührenpflichtige Zone einfuhren, um 44 % und der Anteil der Fahrgemeinschaften nahm von 8 % auf 19 % zu, der Anteil der Busse stieg von 33 % auf 46 %. Obwohl sowohl der Pkw-Bestand als auch die Beschäftigung in der Sperrzone bis 1983 zugenommen hatten, sank der Pkw-Anteil der Pendler insgesamt von 56 % auf 23 %. Der Anteil der öffentlichen Verkehrsmittel in der

morgentlichen Stoßzeit stieg ebenfalls von 33 % auf 69 %. 1998 wurde die ALS durch das Electronic Road Pricing (ERP) Programm ersetzt. Die Gebühren werden automatisch nach Ort, Zeit und Fahrzeugtyp berechnet und eingezogen, und zwar mit Hilfe eines Transponders, der am Fahrzeug angebracht ist und in den eine vorausbezahlte „Smart Card“ eingesteckt ist. ERP hat den Verkehr in der Sperrzone an Wochentagen um 24 % reduziert (U.S. Department of Transportation, 2021[65]).

Quellenangaben

- Basner, M. et al. (2014), “Auditory and non-auditory effects of noise on health”, *The Lancet*, Vol. 383/9925, pp. 1325-1332, [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(13\)61613-x](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(13)61613-x). [52]
- Bishop, K., J. Ketcham and N. Kuminoff (2018), *Hazed and Confused: The Effect of Air Pollution on Dementia*, National Bureau of Economic Research, Cambridge, MA, <https://doi.org/10.3386/w24970>. [48]
- Buck, H. et al. (2023), “Why residual emissions matter right now”, *Nature Climate Change*, <https://doi.org/10.1038/s41558-022-01592-2>. [18]
- Chapman, R. (2019), *Managing the transition to a climate-neutral economy in cities and regions*. [8]
- Chapman, R. et al. (2018), “A Cost Benefit Analysis of an Active Travel Intervention with Health and Carbon Emission Reduction Benefits”, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, Vol. 15/5, p. 962, <https://doi.org/10.3390/ijerph15050962>. [50]
- Chen, Z. et al. (2018), “Consumption-based greenhouse gas emissions accounting with capital stock change highlights dynamics of fast-developing countries”, *Nature Communications*, Vol. 9/1, <https://doi.org/10.1038/s41467-018-05905-y>. [16]
- City of Rotterdam (2020), *Zero Emission City Logistics Rotterdam*. [37]
- City of Seattle (2018), *Seattle Climate Action*. [31]
- Climate Science (2022), *Emissions by End-Use: What Activities Create the Most Emissions?*, <https://climatescience.org/advanced-emissions-by-product>. [68]
- Council of Economic Advisers (2014), *The cost of delaying action to stem climate change*. [6]
- Dechezleprêtre, A., N. Rivers and B. Stadler (2019), “The economic cost of air pollution: Evidence from Europe”, *OECD Economics Department Working Papers*, No. 1584, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/56119490-en>. [42]
- Dijkstra, L., H. Poelman and P. Veneri (2019), “The EU-OECD definition of a functional urban area”, *OECD Regional Development Working Papers*, No. 2019/11, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/d58cb34d-en>. [35]
- Downing, P. and J. Ballantyne (2007), *Tipping Point or Turning Point? Social Marketing and Climate Change*, https://www.ipsos.com/sites/default/files/publication/1970-01/sri_tipping_point_or_turning_point_climate_change.pdf (accessed on 12 October 2023). [63]
- EEA (2020), *Environmental noise in Europe 2020*, Publications Office of the European Union, Luxembourg, <https://doi.org/10.2800/686249>. [51]
- Energieswitch (2019), *Rotterdam Climate Agreement*. [32]
- Energy Information Administration (2022), *Energy and the environment explained*. [69]

European Commission (2021), European Emissions Trading System (ETS) – Calculations on the regional employment impact of ETS installations.	[67]
European Commission (2023), Energy efficiency targets.	[25]
European Commission (2022), Emissions Database for Global Atmospheric Research (EDGAR).	[36]
European Commission (2022), Fit for 55 - Aviation and the EU ETS, https://climate.ec.europa.eu/eu-action/aviation-and-eu-ets_en	[12]
European Commission (2021), Aviation and the EU ETS.	[21]
European Commission (2018), A Clean Planet for all. A European long-term strategic vision for a prosperous, modern, competitive and climate neutral economy.	[3]
Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation, Nuclear Safety and Consumer Protection of Germany (2016), Climate Action Plan 2050, https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Pool/Broschueren/klimaschutzplan_2050_en_bf.pdf .	[11]
Frontier Economics (2017), Affordable Warmth, Clean Growth: Action Plan for a comprehensive Buildings Energy Infrastructure Programme, https://www.aucklandcouncil.govt.nz/plans-projects-policies-reports-bylaws/our-plans-%20strategies/unitary-plan/history-unitary-plan/documentssection32reportproposedaup/appendix-3-8-5.pdf	[54]
German Presidency of the Council of the European Union (2020), EU2020.de.	[20]
Glenk, K. et al. (2021), “The opportunity cost of delaying climate action: Peatland restoration and resilience to climate change”, Global Environmental Change, Vol. 70, p. 102323, https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2021.102323	[66]
Grimes, A. et al. (2012), Cost Benefit Analysis of the Warm Up New Zealand: Heat Smart Programme, https://www.aucklandcouncil.govt.nz/plans-projects-policies-reports-bylaws/our-plans-strategies/unitary-plan/history-unitary-plan/documentssection32reportproposedaup/appendix-3-8-5.pdf	[53]
Hamburg Chamber of Commerce (2022).	[9]
Hamburg Chamber of Commerce (2010), Sector Profiles: Commercial Transport in Hamburg.	[30]
Hamburg Ministry for Urban Development and Environment (2019), First revision of the Hamburg Climate Plan, https://www.hamburg.de/contentblob/13899086/749a6e50662c96eee81d370f1b0cb631/data/d-first-revision-hamburg-climate-plan.pdf	[72]
Hamburg Statistics Office (2022), Energiebilanz und CO ₂ -Bilanzen für Hamburg, https://www.statistik-nord.de/zahlen-fakten/umwelt-energie/energie/dokumentenansicht/%20product/3381/energie-und-CO2-bilanzen-fuer-hamburg-361?cHash=4201529a752424c94a05eb3c4ae751ea .	[23]
Hamburger Senat (2022), Eckpunktepapier für die zweite Fortschreibung des Hamburger Klimaplan, https://www.hamburg.de/contentblob/16763680/bdac8f8d932cbd784b9256426fc5b11b/data/d-eckpunktepapier2022.pdf	[10]
Heissel, J., C. Persico and D. Simon (2019), Does Pollution Drive Achievement? The Effect of Traffic Pollution on Academic Performance, National Bureau of Economic Research, Cambridge, MA, https://doi.org/10.3386/w25489	[49]
Heyes, A., M. Neidell and S. Saberian (2016), The Effect of Air Pollution on Investor Behavior: Evidence from the S&P 500, National Bureau of Economic Research, Cambridge, MA, https://doi.org/10.3386/w22753	[43]
H-vision (2017), Numbers.	[40]

- IEA (2022), CO₂ avoidance and use in raw material industries, [https://www.iea.org/policies/13194-CO₂-avoidance-and-use-in-raw-material-industries](https://www.iea.org/policies/13194-CO2-avoidance-and-use-in-raw-material-industries) [13]
- Intergovernmental Panel on Climate Change (2019), Climate Change and Land An IPCC Special Report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems. Summary for Policymakers., https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2019/08/Edited-SPM_Approved_Microsite_FINAL.pdf (accessed on 21 October 2019) [27]
- Intergovernmental Panel on Climate Change (2018), Global Warming of 1.5 Degrees Celsius, Summary for policy makers, Intergovernmental Panel on Climate Change Working Groups I, II, III, Word Meteorological Organisation, United Nations Environment Programme, http://report.ipcc.ch/sr15/pdf/sr15_spm_final.pdf [1]
- International Energy Agency (2022), Energy Efficiency. [28]
- International Energy Agency (2022), World Energy Outlook 2022. [24]
- International Maritime Organization (2020), Fourth Greenhouse Gas Study 2020. [19]
- ITF (2018), “Shared Mobility Simulations for Dublin”, International Transport Forum Policy Papers, No. 58, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/e7b26d59-en>. [57]
- ITF (2015), “Urban Mobility System Upgrade: How shared self-driving cars could change city traffic”, International Transport Forum Policy Papers, No. 6, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/5jlvvzdk29g5-en> [58]
- Karlsson, M., E. Alfredsson and N. Westling (2020), “Climate policy co-benefits: a review”, Climate Policy, Vol. 20/3, pp. 292-316, <https://doi.org/10.1080/14693062.2020.1724070> [44]
- Material Economics (2019), Industrial Transformation 2050 – Pathways to Net-Zero Emissions from EU Heavy Industry, University of Cambridge Institute for Sustainability Leadership (CISL), <https://materialeconomics.com/publications/industrial-transformation-2050>. [26]
- OECD (2023), OECD interviews with local stakeholders. [70]
- OECD (2023), Regional Industrial Transitions to Climate Neutrality, OECD Regional Development Studies, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/35247cc7-en> [7]
- OECD (2021), Germany country note to the OECD Regional Outlook 2021 – Progress in the net zero transition, <https://www.oecd.org/regional/RO2021%20Germany.pdf> [71]
- OECD (2021), OECD Regional Outlook 2021: Addressing COVID-19 and Moving to Net Zero Greenhouse Gas Emissions, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/17017efe-en> [15]
- OECD (2020), Non-exhaust Particulate Emissions from Road Transport: An Ignored Environmental Policy Challenge, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/4a4dc6ca-en> [47]
- OECD (2019), “Financing climate objectives in cities and regions to deliver sustainable and inclusive growth”, OECD Environment Policy Papers, No. 17, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/ee3ce00b-en> [62]
- OECD (2019), OECD Territorial Reviews: Hamburg Metropolitan Region, Germany, OECD Territorial Reviews, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/29afa27f-en> [29]
- OECD (2017), Investing in Climate, Investing in Growth, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/9789264273528-en> [4]
- OECD (2016), OECD Territorial Reviews: The Metropolitan Region of Rotterdam-The Hague, Netherlands, OECD Territorial Reviews, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/9789264249387-en> [38]
- OECD (2015), Governing the City, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/9789264226500-en> [55]

- OECD (2010), Cities and Climate Change, OECD Publishing, Paris, [61]
<https://doi.org/10.1787/9789264091375-en>
- OECD/ITF (2019), Tax Revenue Implications of Decarbonising Road Transport: Scenarios for Slovenia, [59]
 OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/87b39a2f-en>
- Office, H. (1990), Energiebilanz und CO₂-Bilanzen für Hamburg, <https://www.statistik-nord.de/zahlen-fakten/umwelt-energie/energie/dokumentenansicht/product/3381/energie-und-CO2-bilanzen-fuer-hamburg-361?cHash=4201529a752424c94a05eb3c4ae751ea> [73]
- Port of Rotterdam (2021), Six infrastructure projects central in first CES Rotterdam-Moerdijk. [41]
- Port of Rotterdam (2018), The Rotterdam effect: economic significance of the port is twice as high as previously calculated. [39]
- Port of Seattle (2021), Charting the Course to Zero. [34]
- Sanderson, B. and B. O'Neill (2020), "Assessing the costs of historical inaction on climate change", [5]
 Scientific Reports, Vol. 10/1, <https://doi.org/10.1038/s41598-020-66275-4>.
- Stockholms Stad (2020), Climate Action Plan 2020–2023. [33]
- Tennøy, A. and O. Hagen (2020), "Reallocation of Road and Street Space in Oslo: Measures for Zero Growth in Urban Traffic", International Transport Forum Discussion Papers, No. 2020/14, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/6d7e9f43-en> [56]
- Transport for London (2023), Congestion Charge marks 20 years of keeping London moving sustainably, [64]
<https://tfl.gov.uk/info-for/media/press-releases/2023/february/congestion-charge-marks-20-years-of-keeping-london-moving-sustainably> (accessed on 12 October 2023).
- Transport Styrelsen (2022), Congestion tax in Stockholm: Hours and amounts in Stockholm, [60]
<https://www.transportstyrelsen.se/en/road/road-tolls/Congestion-taxes-in-Stockholm-and-Goteborg/congestion-tax-in-stockholm/hours-and-amounts-in-stockholm/> (accessed on 11 October 2023)
- U.S. Department of Transportation (2021), Lessons Learned From International Experience in Congestion Pricing, [65]
<https://ops.fhwa.dot.gov/publications/fhwahop08047/02summ.htm> (accessed on 12 October 2023)
- UK Committee on Climate Change (2019), Net Zero - The UK's contribution to stopping global warming - [2]
 Committee on Climate Change, <https://www.theccc.org.uk/publication/net-zero-the-uks-contribution-to-stopping-global-warming/>(accessed on 23 October 2019).
- United Nations' High-Level Expert Group (2022), Integrity Matters: Net Zero Commitments by Businesses, [22]
 Financial Institutions, Cities and Regions.
- van Dender, K. (2019), "Taxing vehicles, fuels, and road use: Opportunities for improving transport tax practice", OECD Taxation Working Papers, No. 44, OECD Publishing, Paris, [46]
<https://doi.org/10.1787/e7f1d771-en>.
- Wiedmann, T. et al. (2020), "Three-scope carbon emission inventories of global cities", Journal of [17]
 Industrial Ecology, Vol. 25/3, pp. 735-750, <https://doi.org/10.1111/jiec.13063>.
- World Resource Institute, C40 Cities Climate Leadership Group and ICLEI – Local Governments for [14]
 Sustainability USA (2021), "Global Protocol for Community-Scale Greenhouse Gas Emission Inventories: An Accounting and Reporting Standard for Cities", World Resources Institute.
- Xie, Y. et al. (2018), "Co-benefits of climate mitigation on air quality and human health in Asian countries", [45]
 Environment International, Vol. 119, pp. 309-318, <https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.07.008>

2. Wichtige sektorübergreifende Veränderungen für den Übergang zur Klimaneutralität für Unternehmen

Dieses Kapitel analysiert die wichtigsten Schritte, die Unternehmen vornehmen können, und die Veränderungen, die in Angriff zu nehmen sind, um bis 2040 in allen Sektoren der Hamburger Wirtschaft Klimaneutralität zu erreichen. Es beginnt mit einer Bewertung der aktuellen Fortschritte der Hamburger Unternehmen bei der Umsetzung von Strategien für Netto- Null-Treibhausgase. Dabei werden Erkenntnisse aus einer Umfrage unter ausgewählten Unternehmen sowie Dokumente von großen Unternehmen in Hamburg herangezogen. Diese Erkenntnisse werden dann mit internationalen Empfehlungen bewährter Praktiken verglichen. Dieses Kapitel bewertet auch die spezifischen Herausforderungen für KMU und die Rolle, die Netzwerke spielen können, um die Anstrengungen von KMU zur Dekarbonisierung zu fördern. Schließlich wird in diesem Kapitel untersucht, wie Unternehmen die Vorteile kostengünstiger erneuerbarer Energien nutzen können, indem sie sich an deren Schwankungen anpassen, und wie sie dringende Maßnahmen zur Dekarbonisierung von Gebäuden ergreifen können, um unnötige Kosten zu vermeiden.

Unternehmen spielen eine entscheidende Rolle, um bis 2050 Netto-Null-Emissionen zu erreichen. Der Übergang zur Klimaneutralität birgt materielle Risiken für Unternehmen, die sich in finanziellen Risiken niederschlagen. Klimabezogene Risiken können in zwei Kategorien unterteilt werden: Risiken im Zusammenhang mit dem Übergang zur Klimaneutralität und Risiken im Zusammenhang mit den physischen Auswirkungen des Klimawandels (TCFD, 2017[1]). In diesem Kapitel geht es nur um Übergangsrisiken. Zu den Übergangsrisiken gehören politische Maßnahmen, die Emissionen einschränken, Rechtsstreitigkeiten und rechtliche Risiken, die Verdrängung aktueller Technologien, die fossile Brennstoffe benötigen, Verschiebungen bei Angebot und Nachfrage sowie Reputationsrisiken. Neben der Verringerung dieser Risiken bieten die Bemühungen zur Eindämmung des Klimawandels auch Chancen für Unternehmen. Dazu gehören Ressourceneffizienz und Kosteneinsparungen, die Entwicklung neuer Produkte und Dienstleistungen, der Zugang zu neuen Märkten und der Aufbau von Widerstandsfähigkeit entlang der Lieferkette.

In diesem Kapitel werden die wesentlichen Maßnahmen bewertet, die Unternehmen ergreifen müssen, sowie die Veränderungen, denen sie sich zu stellen haben, um bis 2040 in allen Wirtschaftssectoren Klimaneutralität zu erreichen. Zunächst wird beschrieben, wo die Hamburger Unternehmen bei der Festlegung von Zielen bezüglich Netto-Null-Treibhausgasemissionen, deren Umsetzung und Offenlegung stehen. Dabei wird auf eine Umfrage unter ausgewählten Hamburger Unternehmen sowie die Berichterstattung der größten Hamburger Unternehmen zurückgegriffen. Diese Erkenntnisse werden internationalen Empfehlungen bewährter Praktiken gegenübergestellt, einschließlich der Empfehlungen der hochrangigen Expertengruppe der UN für nichtstaatliche Akteure, die in Kapitel 1 vorgestellt werden.

Die Transformation zur Erreichung der Klimaneutralität erfordert die Integration neuen Wissens über Geschäftspraktiken, die mit der Klimaneutralität in Einklang stehen, zum Beispiel über den Ersatz fossiler Brennstoffe oder die Integration von Geschäftsmodellen in klimaneutrale Wertschöpfungsketten. Diese Herausforderung ist besonders groß für KMU, die weniger Ressourcen haben, um in solches Wissen zu investieren. Daher ist es für KMU besonders wichtig, in Netzwerken zusammenzuarbeiten, um von den Skaleneffekten eines solchen Wissens zu profitieren. Sie werden auch den Zugang zu neuen Technologien, Infrastrukturen und der damit verbundenen notwendigen Finanzierung erleichtern. Diesem Thema ist der zweite Abschnitt gewidmet.

Um Klimaneutralität zu erreichen, muss der größte Teil der Energienutzung elektrifiziert und die Stromerzeugung auf erneuerbare Energien umgestellt werden. Dies gilt insbesondere für Deutschland, das aus der Kernenergie ausgestiegen ist. Der Großteil der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien wird auf fluktuierenden erneuerbaren Energien basieren. Dazu gehören Sonnen- und Windenergie, also Quellen, die im Laufe des Tages und der Jahreszeiten unterschiedlich viel Energie liefern. Dies erfordert von den Unternehmen eine neue Herangehensweise an die Energienutzung und bietet ihnen die Möglichkeit, die Vorteile kostengünstiger fluktuierender erneuerbarer Energien zu nutzen und widerstandsfähiger gegen internationale Energiekrisen zu werden. Diesem Thema ist der dritte Abschnitt gewidmet.

Energiesparen ist eine weitere zentrale Herausforderung für Unternehmen, um die für die Klimaneutralität notwendigen Veränderungen zu erreichen. Zwar ist dies ein Querschnittsthema, das alle Aktivitäten und die Nutzung von Vermögenswerten betrifft, doch werden die ökonomischen Auswirkungen im Gebäudebereich besonders groß sein und eine erhebliche Ankurbelung der Aktivitäten erfordern, insbesondere im beschäftigungsintensiven Bau- und Installationsbereich. Maßnahmen zur Dekarbonisierung von Gebäuden und zur Reduzierung des Energieverbrauchs in Gebäuden müssen daher jetzt vorbereitet und stark beschleunigt werden. Der letzte Abschnitt ist diesem Thema gewidmet.

Festlegung, Umsetzung und Offenlegung von Netto-Null-Zielen

Dieser Abschnitt legt den Schwerpunkt auf die Klimaneutralitäts- oder Netto-Null-Emissionsziele von Unternehmen, auf Maßnahmenpläne zur Erreichung dieser Ziele sowie auf die Bewertung von Emissionen und anderen Messgrößen, die notwendig sind, um den Fortschritt hinsichtlich dieser Ziele zu messen. Im ersten Teil dieses Abschnitts gibt es einen Überblick über die Leitlinien und Empfehlungen zur Festlegung von Netto-Null-Zielen durch Unternehmen. Der zweite Teil beschreibt, wo die Hamburger Unternehmen in Bezug auf Ziele, Emissions-Assessments und Maßnahmenpläne stehen, und zwar auf der Grundlage der verfügbaren Daten, unter anderem aus einer Umfrage unter Hamburger Unternehmen. Im dritten Teil werden Vorschriften erörtert, die sich auf die Aktivitäten der Unternehmen auswirken werden. Der letzte Teil befasst sich mit Leitlinien für die Schätzung von Scope-3-Emissionen, die Emissionen in vor- und nachgelagerten Bereichen der Wertschöpfungskette umfassen.

Um die Risiken zu minimieren und die Chancen beim Übergang zu einer klimaneutralen Wirtschaft zu nutzen, ist es für Unternehmen unerlässlich, Maßnahmen zu ergreifen, um in allen Betriebsbereichen klimaneutral zu werden. Eine Umfrage ergab, dass sich von 2000 börsennotierten Unternehmen 21 % dazu verpflichtet haben, bis spätestens 2050 keine Emissionen mehr zu verursachen. Die Umfrage ergab auch erhebliche Unterschiede in der Qualität der Verpflichtungen der Unternehmen in Bezug auf ihren Umfang und ihre Umsetzungspläne (OECD, 2021[2]).

1. Es gibt derzeit keine verbindlichen Anforderungen für nichtstaatliche Akteure, Ziele für Netto-Null-Emissionen (oder Klimaneutralität) festzulegen oder diese zu berichten. Die Hochrangige Expertengruppe der Vereinten Nationen für Netto-Null-Emissionsverpflichtungen nichtstaatlicher Akteure (UN High-Level Expert Group on Net Zero Emissions Commitments of Non-State Entities) bietet einen Fahrplan und eine Anleitung für die Netto-Null-Ziele nichtstaatlicher Akteure (Kapitel 1). Darüber hinaus stellt die Europäische Kommission Leitlinien für die Offenlegung klimabezogener Risiken zur Information interner und externer Akteure zur Verfügung (Kasten 2.1), die auf der Arbeit der Task Force and Climate Related Risks basieren, die 2017 vom Financial Stability Board eingerichtet wurde. Die OECD-Leitlinien für multinationale Unternehmen zu verantwortungsvollem Geschäftsverhalten betonen auch, dass wissenschaftlich fundierte Ziele und Strategien zur Erreichung von Netto-Null-Treibhausgasemissionen vorhanden sein müssen, die eine quantitative Bewertung der Fortschritte

erlauben. Dies steht im Einklang mit der Hochrangigen Expertengruppe der UN und den Leitlinien der Europäischen Kommission.

Kasten 2.1 Leitlinien der Europäischen Kommission zur Offenlegung

1. Geschäftsmodelle

Für interne und externe Akteure, insbesondere den Vorstand, Investoren und Kunden, ist es wichtig zu verstehen, wie das Unternehmen die Auswirkungen des Klimawandels auf sein Geschäftsmodell und seine Strategie sieht und wie sich seine Tätigkeiten kurz-, mittel- und langfristig auf das Klima auswirken. Dazu müssen die Unternehmen eine längerfristige Sicht darlegen, als sie es normalerweise bei der Finanzberichterstattung tun. Die Unternehmen müssen klimabezogene Risiken und Chancen für das Geschäftsmodell, die Strategie und die Finanzplanung des Unternehmens beschreiben. Die Unternehmen sollten beschreiben, wie sich das Geschäftsmodell des Unternehmens auf das Klima auswirken kann, sowohl positiv als auch negativ. Sie können auch die Widerstandsfähigkeit des Geschäftsmodells und der Strategie des Unternehmens beschreiben und dabei verschiedene klimabezogene Szenarien über verschiedene Zeithorizonte berücksichtigen.

2. Politische Maßnahmen und Due-Diligence-Verfahren

Die Unternehmen müssen ihre Klimarichtlinien beschreiben, einschließlich der Richtlinien zur Folgenminderung und Anpassung. Sie sollten klimabezogene Ziele beschreiben, insbesondere Ziele für Treibhausgasemissionen, und wie ihre Ziele mit nationalen und internationalen Zielen zusammenhängen. Sie sollten beschreiben, wie das Unternehmen mit seinen vor- und nachgelagerten Partnern zusammenarbeitet. Sie müssen die Aufsicht des Vorstands über klimabezogene Risiken und Chancen klären und die Rolle des Managements bei der Bewertung und dem Management klimabezogener Risiken und Chancen beschreiben.

3. Ergebnisse

Die Unternehmen sollten die Ergebnisse der Richtlinie des Unternehmens zum Klimawandel beschreiben, einschließlich der Leistung des Unternehmens im Vergleich zu den Zielen, die es sich gesetzt hat, um klimabezogene Risiken und Chancen zu managen, insbesondere die Entwicklung der Treibhausgasemissionen.

4. Wesentliche Risiken und Management

Die Unternehmen sollten beschreiben, wie sie kurz-, mittel- und langfristig klimabezogene Risiken identifizieren, bewerten und bewältigen. Sie sollten die Verfahren zur Priorisierung klimabezogener Risiken beschreiben, einschließlich aller angewandten Schwellenwerte, und angeben, welche Risiken innerhalb der Wertschöpfungsketten als besonders wichtig angesehen werden. Sie müssen offenlegen, wie Szenarien oder Kohlenstoffbepreisung für Maßnahmen des Risikomanagements verwendet werden.

5. Wichtige Leistungsindikatoren

- a. Die Unternehmen müssen die wichtigsten Leistungsindikatoren für ihr Geschäft offenlegen. Die Unternehmen müssen eine Beschreibung der zur Berechnung oder Schätzung der Indikatoren verwendeten Methoden sowie etwaige Änderungen dieser Methoden vorlegen. Sie können die Offenlegung der folgenden Indikatoren in Betracht ziehen:
 - i. *Treibhausgasemissionen* ▶ Emissionen in Scope 1, 2 und 3 und absolute Emissionsziele für Treibhausgase

- ii. *Energie* ▶ Gesamtenergieverbrauch und -produktion aus erneuerbaren und nicht erneuerbaren Quellen, Verbrauch und/oder Produktionsziel für erneuerbare Energien
 - iii. *Physische Risiken* ▶ Vermögenswerte in Regionen, die voraussichtlich stärker physischen Klimarisiken ausgesetzt sein werden
 - iv. *Produkte und Dienstleistungen* ▶ % des Umsatzes (im Berichtsjahr) aus Produkten der Dienstleistungen, die mit Aktivitäten verbunden sind, die die Kriterien für einen Beitrag zur Abschwächung oder Anpassung an den Klimawandel erfüllen.
 - v. *Grüne Finanzen* ▶ Klimarelevante Kennzahlen für grüne Anleihen (ausstehende grüne Anleihen geteilt durch die Gesamtzahl der ausstehenden Anleihen) sowie alle Kennzahlen für grüne Schulden.
- b. Zusätzlich zu den oben genannten Indikatoren können Unternehmen auch die folgenden berücksichtigen:
- i. Sektorspezifische Indikatoren, die für die Branche relevant sind. Anwendung der TCFD-Leitlinien.
 - (a) Die TCFD-Leitlinien bieten sektorspezifische Anleitungen für die Bereiche Energie, Transport, Materialien und Gebäude sowie Landwirtschaft, Lebensmittel und Forstprodukte.
 - ii. Indikatoren für das Naturkapital
 - iii. Indikatoren in Bezug auf Humankapital und soziale Fragen
 - iv. Indikatoren, die sich auf Chancen beziehen (Einnahmen aus kohlenstoffarmen Produkten, Einnahmen aus Produkten oder Dienstleistungen, die dem Modell der Kreislaufwirtschaft entsprechen, und F&E-Ausgaben für die Produktion in der Kreislaufwirtschaft).

Quelle: Europäische Kommission, Leitlinien zur Berichterstattung über klimabezogene Informationen.

Die Mehrheit der Hamburger Unternehmen muss sich noch ein Netto-Null-Ziel setzen

Dieses Unterkapitel stützt sich auf eine von der Handelskammer Hamburg (HK) durchgeführte Umfrage unter Unternehmen, um Einblicke in ihre Selbstverpflichtungen zu Netto-Null-Treibhausgasemissionen, ihre Wahrnehmung der damit verbundenen Herausforderungen und Chancen sowie die Fortschritte bei deren Bewältigung zu geben. Sie stützt sich auch auf eine Bewertung der Berichterstattung der zehn größten Unternehmen.

Die Umfrage wurde an eine Zufallsauswahl von Unternehmen versandt, die weitgehend repräsentativ für die Gesamtheit der Hamburger Unternehmen in den von der HK betreuten Sektoren ist, obgleich Unternehmen mit weniger als 10 Mitarbeitern unterrepräsentiert sind. Der Fragebogen wurde an eine Zufallsauswahl von 2300 Unternehmen mit mehr als 10 Beschäftigten und an eine Zufallsstichprobe von 500 Unternehmen aller Größenklassen versandt. 128 Unternehmen haben auf die Umfrage geantwortet (die Zahl der Antworten variiert leicht zwischen den Fragen), was einer Rücklaufquote von etwa 4 % entspricht. Diese Rücklaufquote ist vergleichbar mit anderen von der HK durchgeführten Unternehmensumfragen. Unternehmen, die sich stark für die klimapolitische Agenda engagieren, antworten eher. Dies ist bei der Interpretation der folgenden Umfrageergebnisse zu berücksichtigen.

Die sektorale Zusammensetzung der antwortenden Unternehmen entspricht im Großen und Ganzen der sektoralen Zusammensetzung der Mitglieder der HK (Anhang Tabelle 2.A.1). Dienstleistungsunternehmen sind etwas unterrepräsentiert, außer in den Bereichen Logistik, Transport sowie Medien und IKT. Industrie- und Bauunternehmen sind leicht überrepräsentiert. Die Größenverteilung der antwortenden Unternehmen weicht jedoch stark von der Unternehmensgesamtheit ab. Unternehmen mit weniger als 3 Beschäftigten sind stark unterrepräsentiert. Alle anderen Unternehmensgrößen sind überrepräsentiert, insbesondere die größten Unternehmen.

Wie die folgenden Ergebnisse zeigen, ist es wenig überraschend, dass kleine Unternehmen viel seltener Klimaneutralitätsziele verfolgen. Dienstleistungsunternehmen, die ebenfalls etwas unterrepräsentiert sind, scheinen ebenfalls eine geringere Neigung zu haben, sich Emissionsziele zu setzen. Dies deutet auch darauf hin, dass der Anteil der Unternehmen mit Klimazielen insgesamt überschätzt wird. Größere Unternehmen, die eher Klimaneutralitätsziele verfolgen, haben jedoch auch ein größeres Gewicht in Hamburgs Wirtschaft und Beschäftigung.

Die niedrigen Rücklaufquoten bei kleinen Unternehmen deuten darauf hin, dass sie nicht über ausreichende Kapazitäten verfügen, um in das erforderliche Wissen zu investieren. Dieser Punkt wird im folgenden Abschnitt über Unternehmensnetzwerke für KMU zum Aufbau klimaneutraler Geschäftsmodelle aufgegriffen.

Die Fragen, die in der Umfrage gestellt wurden, finden sich im Anhang.

Ergebnisse des Fragebogens

66 % der befragten Unternehmen geben an, dass Klimaschutz für sie wichtig oder sehr wichtig ist. Sie sehen erhebliche Chancen in der Erreichung der Klimaneutralität, insbesondere steigert es die Attraktivität der Arbeitgebermarke (Abbildung 2.1). In der Tat sehen die meisten der antwortenden Unternehmen ein Klimaneutralitätsziel als Chance, ihre Attraktivität als Arbeitgeber und im Produktmarketing zu verbessern.

Abbildung 2.1 Die größte wahrgenommene Chance der Klimaneutralität ist die Arbeitgeberattraktivität

Antworten auf die Frage: Welche Geschäftsmöglichkeiten sehen Sie für Ihr Unternehmen im Bereich der Klimaneutralität?



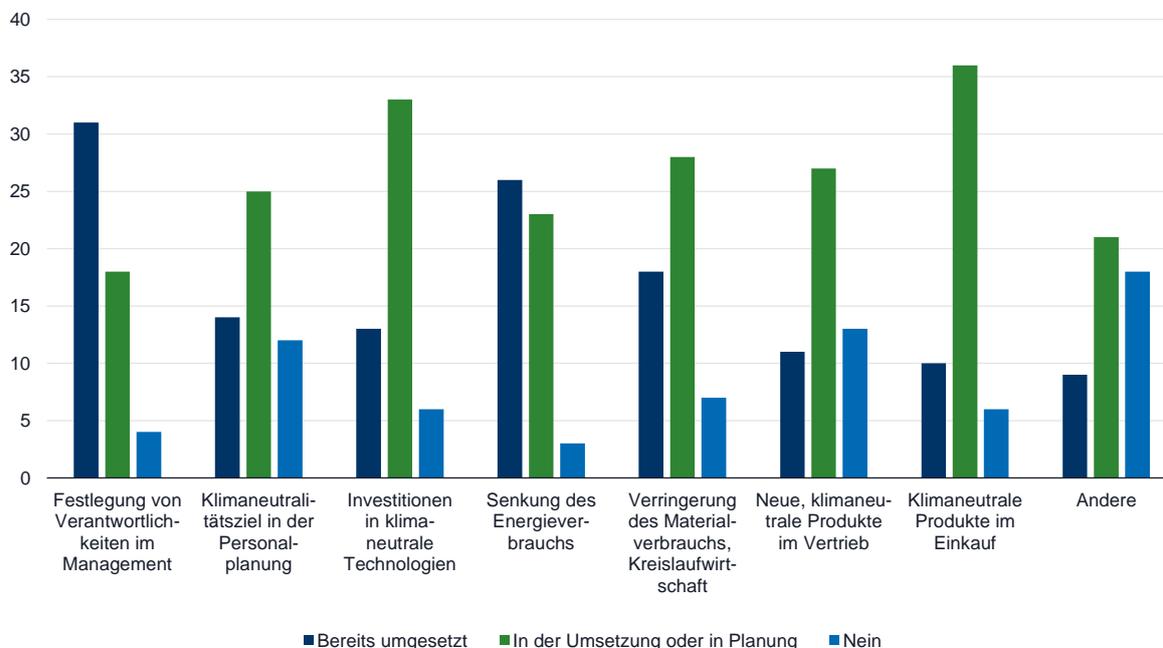
Anmerkung: Die Gesamtzahl der antwortenden Unternehmen beträgt 128. Mehrfachnennungen waren möglich.
Quelle: Umfrage durchgeführt von HK (2023).

StatLink 2 <https://stat.link/1ox63s>

58 der antwortenden Unternehmen (48 %) haben sich ein Netto-Null-Emissionsziel gesetzt (Abbildung 2.A.17). Von diesen haben 76 % Ziele für 2040 oder früher festgelegt, in Übereinstimmung mit dem Klimaneutralitätsziel der HK, und etwa 70 % haben Zwischenziele festgelegt. Unter den Unternehmen, die geantwortet haben, war das Fehlen von Ressourcen der häufigste Grund, kein Klimaneutralitätsziel zu haben (Abbildung 2.2). Die meisten Unternehmen mit Netto-Null-Zielen beziehen ihre Scope-1- und Scope-2-Emissionen in diese Ziele ein, aber nur 45 % beziehen Scope-3-Emissionen mit ein. 25 Unternehmen (41 %) haben das Netto-Null-Ziel öffentlich bekannt gegeben, 19 Unternehmen (31 %) haben es nicht, planen dies aber, und 14 haben und planen dies nicht. Die meisten Unternehmen haben Verantwortlichkeiten im Management festgelegt und ihren Energieverbrauch reduziert. Andere Maßnahmen wie Investitionen in klimaneutrale Technologien, Kreislaufwirtschaft oder klimaneutrale Produkte im Verkauf oder Einkauf sind jedoch noch in der Umsetzung oder in Planung (Abbildung 2.2). Für den Ausstieg aus fossilen Brennstoffen und den Ausbau der erneuerbaren Energien gibt die Mehrheit aller antwortenden Unternehmen an, dass sie sich zumindest für einen der beiden Bereiche ein Ziel gesetzt haben, wenngleich nur wenige Befragte (etwa 10 %) ein Ziel für den Ausstieg aus fossilen Brennstoffen haben.

Abbildung 2.2 Die Festlegung von Verantwortlichkeiten auf Managementebene und die Reduzierung des Energieverbrauchs wurden von einer Mehrheit der Befragten umgesetzt

Antworten auf die Frage: Welche Maßnahmen plant Ihr Unternehmen, um Klimaneutralität zu erreichen?

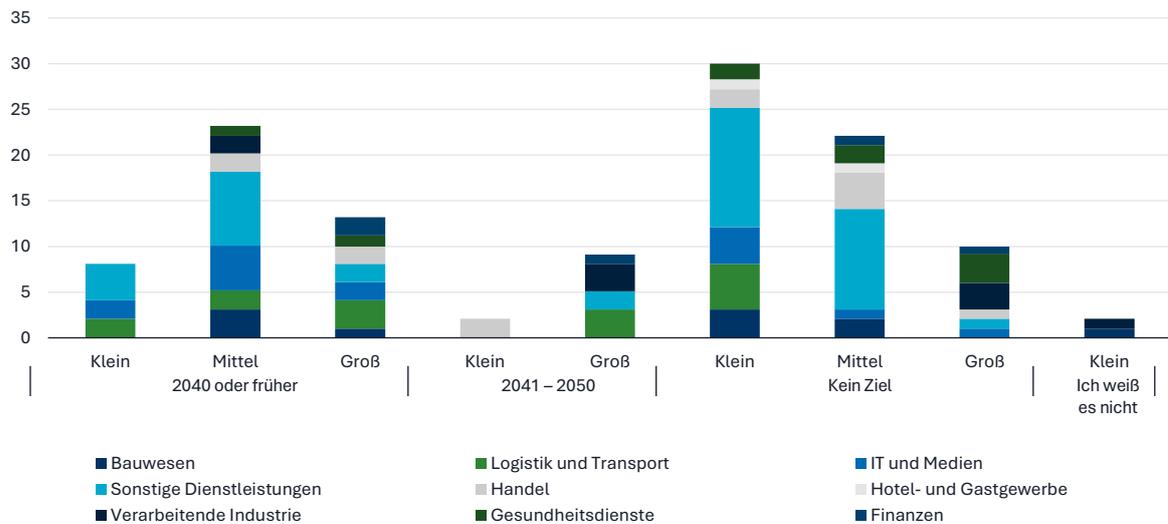


Anmerkung: Die Gesamtzahl der Unternehmen, die geantwortet haben, sind diejenigen, die ein Klimaneutralitätsziel haben (58). Mehrfachnennungen waren möglich.

Quelle: Umfrage durchgeführt von der HK (2023).

Unternehmen der Informations- und Kommunikationstechnologie sowie des Finanzsektors scheinen zu den ehrgeizigsten zu gehören, die sich Netto-Null-Ziele für 2040 oder früher setzen, wenn man die Antworten auf die Umfrage betrachtet (Abbildung 2.3). Allerdings ist die Zahl der Unternehmen pro Sektor, die geantwortet haben, gering. Die ehrgeizigsten Unternehmen sind vornehmlich mittelgroß. Die Mehrheit der Kleinunternehmen hat sich noch kein Netto-Null-Ziel gesetzt.

Abbildung 2.3 Mittlere Unternehmen, IKT und Finanzunternehmen setzen die ehrgeizigsten Netto-Null-Ziele



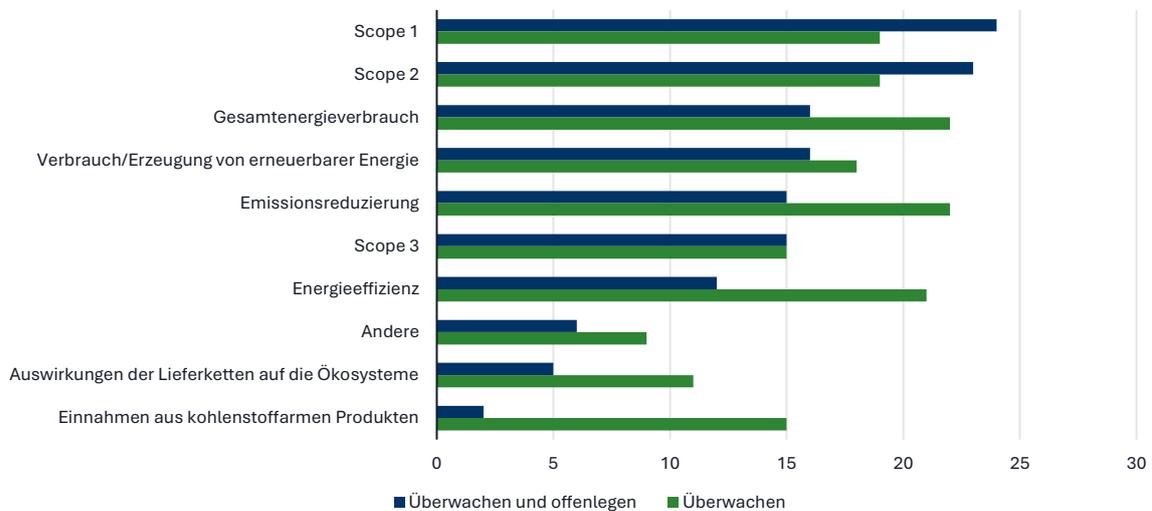
Anmerkung: Die Gesamtzahl der antwortenden Unternehmen beträgt 128, die Zahl der antwortenden Unternehmen mit einem Klimaneutralitätsziel 58. Die Größe der Unternehmen wird wie folgt klassifiziert: klein für Unternehmen mit bis zu 49 Mitarbeitern, mittel für Unternehmen mit 50–249 Mitarbeitern und groß für Unternehmen mit 250 oder mehr Mitarbeitern.

Quelle: Umfrage durchgeführt von HK (2023).

Nur 38 % der Unternehmen gaben an, dass sie relevante Indikatoren messen und offenlegen. Emissionen nach Scope 1 und 2 sind die Indikatoren, die am meisten überwacht und offengelegt werden. Nur 30 Unternehmen (23 %) überwachen Scope-3-Emissionen, die Hälfte davon legt diese auch offen (Abbildung 2.4). Außerdem überwachen die meisten Unternehmen die Energieeffizienz, die Auswirkungen der Lieferketten auf die Ökosysteme und die Einnahmen aus kohlenstoffarmen Produkten nicht, auch wenn diese identifiziert werden.

Abbildung 2.4 Scope-1- und Scope-2-Emissionen sind die am meisten überwachten und offengelegten Schlüsselindikatoren für die Umstellung auf Klimaneutralität

Antworten auf die Frage: Welche Klimaindikatoren überwacht Ihr Unternehmen?



Anmerkung: Die Gesamtzahl der antwortenden Unternehmen beträgt 128. Quelle: Umfrage durchgeführt von HK (2023).

StatLink 2 <https://stat.link/saih8x>

Die Unsicherheit bezüglich der Kosten, des Umsatzes und des Betriebs bei einer klimaneutralen Umstellung sowie die notwendigen Investitionen in eine klimaneutrale Produktion und deren Finanzierung werden am häufigsten als Herausforderungen bei der Umstellung auf Klimaneutralität genannt. Höhere Produktionskosten und ein Mangel an qualifizierten Arbeitskräften sind weitere Hürden (Abbildung 2.5).

Abbildung 2.5 Die meisten Hamburger Unternehmen sehen die unsicheren Aussichten und die Finanzierung von Investitionen als eine Herausforderung beim Übergang zur Klimaneutralität

Antworten auf die Frage: Welche geschäftlichen Herausforderungen sehen Sie für Ihr Unternehmen im Bereich der Klimaneutralität?



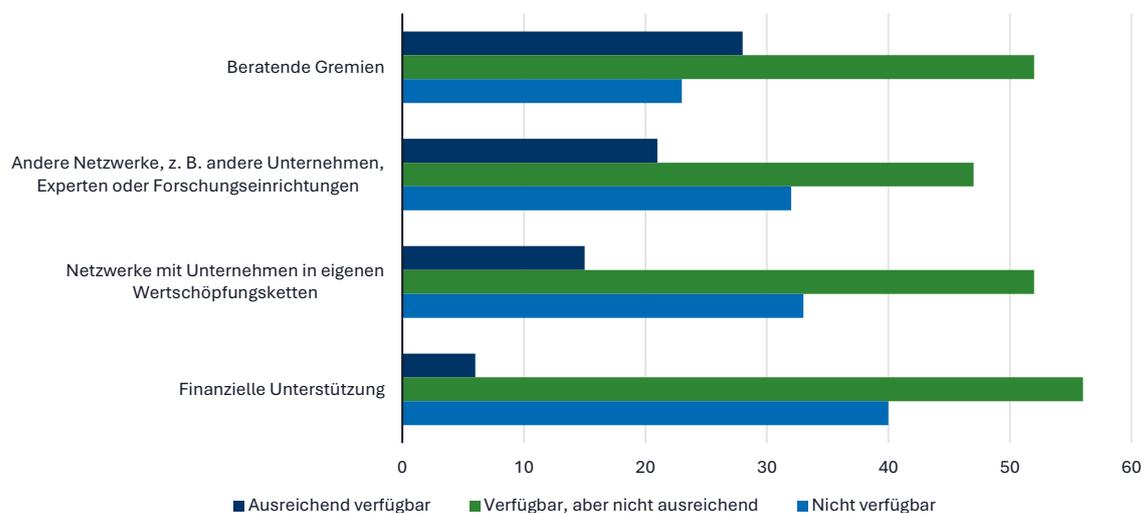
Anmerkung: Die Gesamtzahl der antwortenden Unternehmen beträgt 128. Quelle: Umfrage durchgeführt von HK (2023).

StatLink 2 <https://stat.link/tjw7a0>

Den meisten Unternehmen fehlt es an finanzieller Unterstützung. Beratungsstellen sind dagegen ausreichend vorhanden. Allerdings müssen alle Arten von Unterstützung verstärkt werden, um die Erwartungen der antwortenden Unternehmen zu erfüllen (Abbildung 2.6).

Abbildung 2.6 Die meisten Unternehmen sind der Meinung, dass finanzielle Unterstützung verfügbar ist, aber nicht ausreicht

Antworten auf die Frage: Wie bewerten Sie die Verfügbarkeit der folgenden Unterstützungsleistungen auf dem Weg zur Klimaneutralität?



Anmerkung: Die Gesamtzahl der antwortenden Unternehmen beträgt 128. Quelle: Umfrage durchgeführt von HK (2023).

StatLink 2 <https://stat.link/49i3jl>

Wo stehen die größten Unternehmen in Hamburg?

Die 8 umsatzstärksten Unternehmen in Hamburg haben sich Netto-Null- und Zwischenziele gesetzt und diese offengelegt (Tabelle 2.1). Allerdings beziehen nur manche von ihnen Scope-3-Emissionen in ihre Netto-Null-Ziele und Zwischenziele ein. Wie in Kapitel 1 dargelegt, sind die Scope-3-Emissionen wichtig, um klimabezogene Risiken und Chancen zu bewerten. Die Unternehmen mit Netto-Null-Zielen für 2050 müssen ihre Ambitionen verstärken, damit sie mit dem deutschen Klimaneutralitätsziel für 2045 und dem HK-Ziel für 2040 übereinstimmen. Das Unternehmen mit dem frühesten Klimaneutralitätsziel ist die Vattenfall GmbH mit einem Netto-Null-Ziel für 2040, das Scope-1- und Scope-2-Emissionen umfasst. Es gibt eine große Bandbreite an Zwischenzielen in Bezug darauf, welche Emissionen einbezogen werden und wie die Emissionen gemessen werden. Darüber hinaus wurden unter den 8 größten Unternehmen die Klimaziele der Aurubis AG, der Vattenfall GmbH, der Airbus Operations GmbH und der Beiersdorf AG von der Science Based Target Initiative (SBTi) für ihre Übereinstimmung mit dem 1,5°C Szenario zertifiziert. Die SBTi ist ein unabhängiges Unternehmen, das Beratung zu Klimazielen anbietet. Die Otto Group und Nordex haben ein Science Based Target (SBT) verabschiedet, das derzeit von der Science-Based Target Initiative (SBTi) validiert wird. Die Otto Group beabsichtigt, dieses Ziel ab dem Geschäftsjahr 2024 zu verfolgen. Fünf Unternehmen setzen einen Maßnahmenplan zur Dekarbonisierung um.

Tabelle 2.1 **Netto-Null-Ziele und Zwischenziele der 8 umsatzstärksten Unternehmen in Hamburg**

Unternehmen	Umsatz (Mio. €)	Emissionen (Tonnen CO ₂ e)	Netto-Null-Ziel	Zwischenziele	Internationale Kompensationen	Maßnahmenpläne
Hapag-Lloyd	22.274	Scope 1 – 13.390.000 Scope 2 – 9.000 Scope 3 – 2.302.000	2045 – Netto-Null-Treibhausgasemissionen für die Flotte	2030 – Reduzierung der Emissionsintensität um 30 % im Vergleich zu 2019		Verfügbar
Aurubis AG	17.064	Scope 1 + 2 – 1.605.000 Scope 3 – 6.181.000	2050 – Kohlenstoffneutralität (spätestens)	2030 – Reduzierung der Scope-1- plus Scope-2-Emissionen um 50 % gegenüber 2018 2030 – Senkung der Scope 3-Emissionen pro Tonne Kupferkathoden um 24 % gegenüber 2018		In Entwicklung

Otto GmbH & Co KG	16.200		2045 – Netto-Null	2025 – Reduzierung der Treibhausgasemissionen um 40 % im Vergleich zu 2018 2030 – Kohlenstoffneutralität an allen Standorten, Transport und Mitarbeitermobilität	Kompensation wird hauptsächlich für den klimaneutralen Versand von Paketen genutzt	Nicht verfügbar
Vattenfall GmbH	13.970	Scope 1 – 9.500.000 Scope 2 – 200.000 Scope 3 – 16.100.000	2040 – Netto-Null (Scope 1 + Scope 2)	2030 – Reduzierung der Emissionsintensität von Scope 1 plus Scope 2 um 77 % im Vergleich zu 2017 2030 – Reduzierung der absoluten Scope-3-Emissionen der verkauften Produkte um 33 % im Vergleich zu 2017	Ausgleich aller Emissionen aus Geschäftsreisen durch CO ₂ -Zertifikate im Rahmen des Clean Development Mechanism der UN	Verfügbar
Airbus Operations GmbH	8.396	Scope 1 + 2 – 857.000 Scope 3 – 505.643.000	2050 – Netto-Null (Scope 1 + Scope 2) und Unterstützung der Dekarbonisierung der Industrie (Scope 3)	2030 – Reduzierung der Scope-1- + Scope-2-Treibhausgasemissionen um 63 % im Vergleich zu 2015 2030 – Reduzierung der Intensität der Scope-3-Treibhausgasemissionen von Verkehrsflugzeugen um 46 %	Beseitigung von 100 % der verbleibenden Emissionen bis 2030 durch Kompensationen	Verfügbar
Beiersdorf AG	7.600	Scope 1 – 90.349 Scope 2 – 1.320 Scope 3 – 1.034.279	2050 – Netto-Null (spätestens)	2025 – Absolute Reduzierung der Treibhausgasemissionen in Scope 1, 2 und 3 um 30 % im Vergleich zu 2018 2030 – 100 % klimaneutrale Produktion	Kompensation der Flugemissionen. Ziel ist es, die verbleibenden Treibhausgasemissionen auszugleichen.	In Entwicklung
Arcelor-Mittal GmbH	7.400	Scope 1 + 2 – 145.800.000	2050 – Netto-Null	2030 – Reduzierung der Scope-1- + Scope-2-Emissionsintensität in Europa um 35 % im Vergleich zu 2018	5 % der Gesamtemissionen werden durch den Kauf hochwertiger Kompensationen ausgeglichen	Verfügbar
Nordex SE	5.694	Scope 1 – 27.164 Scope 2 – 501 In den Produktionsstätten sowie in den Hauptbüros Scope 3 – 3.483.000	Wir haben uns verpflichtet, Netto-Null-Ziele in Übereinstimmung mit der SBTi zu setzen.	Keine Zwischenziele angekündigt	Wir arbeiten an der Identifizierung geeigneter Klimaschutzprojekte, um die verbleibenden Scope-1- und Scope-2-Emissionen bis Ende 2023 zu kompensieren.	Verfügbar

Anmerkung: Scope-3-Emissionen beziehen sich nur auf das Verbrauchergeschäft.

Quelle: (Hapag-Lloyd, 2022[3]) (Aurubis, 2023[4]) (Otto Group, 2022[5]) (Vattenfall, 2022[6]) (Maxingvest AG, 2022[7]) (Marquad & Bahls, 2020[8]) (Beiersdorf, 2022[9]) (Airbus, 2022[10]) (ArcelorMittal, 2021[11]) (Nordex, 2022[12]).

Unternehmen sollten Maßnahmen zur Emissionsreduzierung gegenüber dem Kauf von Emissionsgutschriften zur Kompensation von Emissionen den Vorrang geben. Nur Restemissionen, die aufgrund technologischer oder finanzieller Beschränkungen unvermeidbar sind, können kompensiert werden. Die meisten der 8 größten Unternehmen in Hamburg setzen auf internationale Kompensationen, wenn auch in unterschiedlichem Umfang. Manche Unternehmen wie die Airbus Operations GmbH und die ArcelorMittal GmbH planen den Einsatz der Technologie zur Kohlenstoffabscheidung und Kohlenstoffspeicherung (CCS).

Befolgen die Hamburger Unternehmen die Empfehlungen und Leitlinien?

Die Unternehmen müssen ihre Ambitionen erhöhen, um den Empfehlungen der Hochrangigen Expertengruppe der UN und der Europäischen Kommission zu entsprechen. Die meisten der befragten Unternehmen haben sich noch keine Netto-Null-Ziele gesetzt oder diese öffentlich bekannt gegeben. Von den Unternehmen, die sich Netto-Null-Ziele gesetzt haben, bezieht nur eine Minderheit Scope-3-Emissionen in diese Ziele ein. Bei manchen der 8 größten Hamburger Unternehmen ist nicht klar, welche der Scope-1- und Scope-2-Emissionen in den Zielen enthalten sind. Manche der 10 größten Unternehmen bieten Kompensationsmaßnahmen an, um die verbleibenden Emissionen zu verringern. Dennoch scheinen die Kompensationsmaßnahmen alle von hoher Qualität zu sein und den Bedingungen der Zusätzlichkeit und Dauerhaftigkeit zu entsprechen, die von der Hochrangigen Expertengruppe festgelegt wurden (Kapitel 1).

Was die Offenlegung betrifft, so überwacht und veröffentlicht nur eine kleine Anzahl der befragten Unternehmen relevante Indikatoren, und selbst von den 8 größten Unternehmen legen nicht alle die Emissionszahlen für alle 3 Scopes offen. Die Überwachung des Fortschritts anhand dieser und anderer Kennzahlen ist für die Unternehmen unerlässlich, um fundierte Entscheidungen auf ihrem Weg zur Klimaneutralität zu treffen.

Regelungen, die Unternehmen erwarten können

Unternehmen in Hamburg sollten mit politischen Maßnahmen auf EU- und Bundesebene rechnen, die von den Unternehmen eine stärkere Integration von Umweltverpflichtungen in die Betriebsabläufe und Lieferketten verlangen (OECD, 2021[13]). Einige Beispiele für aktuelle politische Maßnahmen:

- **Verpflichtende Due-Diligence-Regeln der EU:** Unternehmen werden verpflichtet, negative Auswirkungen auf die Menschenrechte und die Umwelt zu erkennen, zu verhindern, zu beenden oder abzumildern. Nachdem der Vorschlag vom Europäischen Parlament und vom Rat angenommen wurde, haben die Mitgliedstaaten zwei Jahre Zeit, die Anforderungen in nationales Recht umzusetzen. Unternehmen werden verpflichtet, die Auswirkungen ihrer Geschäftstätigkeit auf den Klimawandel sowie die Auswirkungen ihrer gesamten Lieferketten auf die Umwelt zu bewerten. Dazu gehört die Ermittlung der Treibhausgasemissionen, die Bewertung der Risiken des Klimawandels für ihre Geschäftstätigkeit und die Ergreifung von Maßnahmen zur Abschwächung dieser Risiken (European Commission, 2022[14]).
- **Deutsches Due-Diligence-Gesetz:** Ab 2023 müssen Unternehmen mit Sitz in Deutschland und mehr als 3000 Mitarbeitern sicherstellen, dass soziale und ökologische Standards in ihrer

Lieferkette eingehalten werden. Die Unternehmen müssen Verfahren einrichten, um Menschenrechtsprobleme und ökologische Risiken und Auswirkungen in ihren Lieferketten und in ihren eigenen Betrieben zu identifizieren, zu bewerten, zu verhindern und zu beheben. Diese Verfahren müssen in ihren Jahresberichten veröffentlicht werden. Ab 2024 wird dies für Unternehmen mit mehr als 1000 Mitarbeitern gelten (Sedex, 2023[15]).

- **EU-Verordnung über entwaldungsfreie Lieferketten:** Nach der Verabschiedung dürfen Waren auf dem EU-Markt weltweit nicht mehr zur Entwaldung und Waldschädigung beitragen. Alle betroffenen Unternehmen müssen ihre Lieferketten, die Produkte aus Palmöl, Rindern, Soja, Kaffee, Kakao, Holz und Kautschuk sowie daraus hergestellte Produkte verwenden, einer strengen Sorgfaltspflicht (Due-Diligence) unterziehen. Die Unternehmen werden verpflichtet, genaue geografische Informationen darüber zu sammeln, wo ihre Rohstoffe angebaut werden und woher sie stammen. Kleinst- und Kleinunternehmen werden eine längere Anpassungszeit haben, aber dies wird für alle Unternehmen gelten (European Commission, 2022[16]).
- **Deutsche Rohstoffstrategie:** Die Strategie zielt darauf ab, die Versorgung mit Rohstoffen, die in der industriellen Produktion in Deutschland benötigt werden, langfristig zu sichern und sozial und ökologisch faire Lieferketten sicherzustellen. Schwerpunkte der Strategie sind Rohstoffbeschaffung, Material- und Ressourceneffizienz, Nachhaltigkeit und Transparenz sowie internationale Zusammenarbeit. Die Strategie steht im Einklang mit den europäischen politischen Maßnahmen und Initiativen zu Rohstoffen und zur Kreislaufwirtschaft (International Energy Agency, 2022[17]).
- **Europäisches CO₂-Grenzausgleichssystem (CBAM):** Im Oktober 2023 wird das CBAM in seine Übergangsphase eintreten und sich zunächst auf die kohlenstoffintensivsten Importgüter konzentrieren, insbesondere Zement, Eisen, Stahl, Aluminium, Düngemittel sowie Strom und Wasserstoff. Unternehmen, die diese importierten Güter in ihrer Lieferkette haben, müssen die eingebetteten Treibhausgasemissionen (sowohl direkte als auch indirekte Emissionen in der Lieferkette) melden. Ab Januar 2026 müssen die Importeure die entsprechenden handelbaren CBAM-Zertifikate vorlegen, deren Preis sich nach dem wöchentlichen EU-Emissionshandelspreis richtet (European Commission, 2022[18]).
- **Die Erneuerbare-Energien-Richtlinie II** legt Kriterien für die nachhaltige Produktion von Biokraftstoffen fest. Ab 2023 ist diese Regelung für eine bestimmte Liste von Akteuren verbindlich. Wenn die Kriterien nicht eingehalten werden, kann das Unternehmen keinen Anspruch darauf erheben, zur Erreichung eines bestimmten Ziels beizutragen, kann keine öffentlichen Subventionen erhalten, oder seine Subventionen können eingefroren werden.

Bewertung von Scope-3-Emissionen

Um sich der Chancen und Risiken von Geschäftsmodellen bewusst zu sein, müssen Unternehmen ihre Scope-3-Emissionen umfassend messen (Kasten 2.2). Die gängigen Berichterstattungsstandards bieten eine gewisse Orientierungshilfe, doch bleiben Herausforderungen bestehen, da es zahlreiche unterschiedliche Berichterstattungsansätze gibt. Die Unternehmen müssen ein Gleichgewicht finden: Die Genauigkeit der Bewertung und Berichterstattung über jede Emissionsquelle sollte von der Bedeutung für das Geschäftsmodell abhängen, wobei die Machbarkeit zu berücksichtigen ist (World Economic Forum, OECD, Business at OECD, 2023). Die Interoperationalität des Berichtswesens zwischen den Unternehmen kann zu mehr Klarheit und zu geringeren Kosten führen. Das Greenhouse Gas Protocol, eine Zusammenarbeit zwischen dem World Resources Institute und dem Carbon Trust, bietet eine

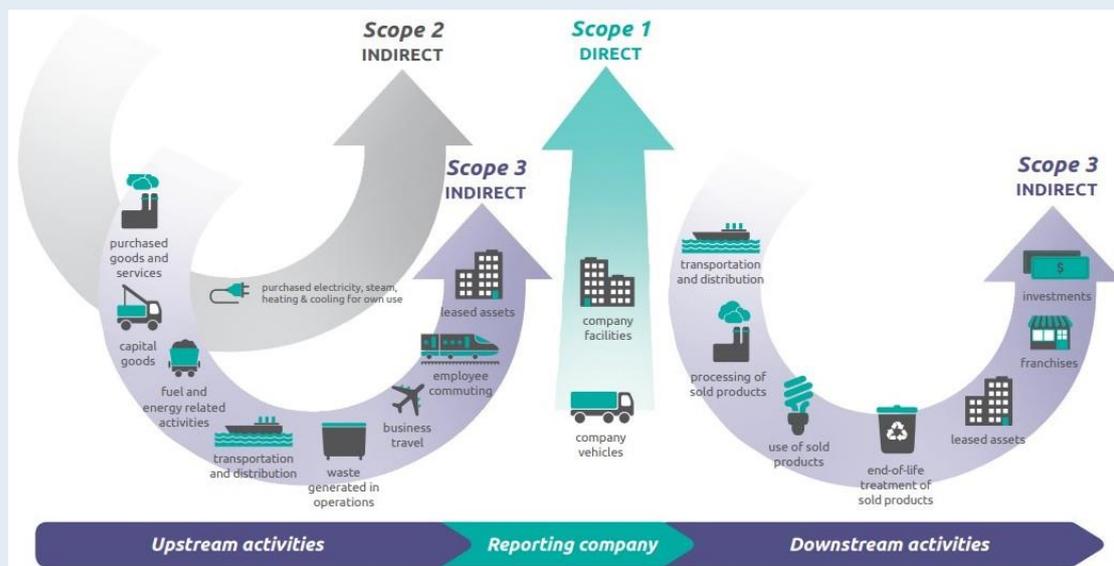
technische Anleitung zur Berechnung von Scope-3-Emissionen in den Wertschöpfungsketten von Unternehmen (Greenhouse Gas Protocol, 2023[20]).

Kasten 2.2 Scope-3-Emissionen und ihre Kategorien

Scope-3-Emissionen können in vorgelagerte und nachgelagerte Emissionen unterteilt werden und umfassen 15 verschiedene Kategorien (Abbildung 2.7).

- Zu den **vorgelagerten Emissionen** gehören alle indirekten Emissionen während der Produktion einer Ware oder Dienstleistung. Dazu gehört die Gewinnung, die Herstellung und der Transport von Waren und Dienstleistungen, die das Unternehmen gekauft hat, die Gewinnung, die Herstellung und der Transport von Brennstoffen und Energie, die das Unternehmen gekauft hat, der Transport und der Vertrieb von Zwischenprodukten, die während des Betriebs anfallenden Abfälle, die Emissionen aus Geschäftsreisen und dem Pendeln der Mitarbeiter sowie alle Emissionen aus vorgelagerten geleasten Sachanlagen.
- **Nachgelagerte Emissionen** entstehen bei der Nutzung oder Entsorgung von Produkten eines Unternehmens, beim Verbrauch und am Ende des Lebenszyklus. Dazu gehören Emissionen aus dem Transport und Vertrieb der verkauften Produkte, der Verarbeitung der verkauften Produkte, der Nutzung der verkauften Produkte, der Behandlung der verkauften Produkte am Ende ihrer Lebensdauer, nachgelagerten geleasten Sachanlagen, Franchiseverträgen und Investitionen.

Abbildung 2.7 Scope-3-Emissionen in den Lieferketten von Unternehmen und ihre 15 Kategorien



Quelle: (Greenhouse Gas Protocol, 2023[20]).

Das Protokoll empfiehlt, dass Unternehmen ermitteln, welche Scope-3-Emissionen vorrangig zu berechnen oder zu schätzen sind. Die Unternehmen müssen zunächst herausfinden, welche Emissionen nach bestimmten vorgeschlagenen Kriterien am wichtigsten sind:

- Emissionen mit **dem höchsten Reduzierungspotenzial**
- Emissionen, die ein **großes Risiko für das Unternehmen** darstellen
- Emissionen, die für **wichtige Akteure von großer Bedeutung** sind
- Emissionen, die **in der Branche von großer Bedeutung** sind
- Emissionen, deren **Verringerung hohe Ausgaben** erfordert
- Emissionen, deren **Verringerung hohe Einnahmen generiert**.

Nachdem die wichtigsten Scope-3-Emissionen identifiziert wurden, empfiehlt das Protokoll, wie diese Emissionen gemessen oder geschätzt werden können. Das Protokoll enthält Anleitungen zur Berechnung und Schätzung für jede der Kategorien (Abbildung 2.7). Es bietet Unternehmen eine Anleitung, welche Berechnungsmethode angesichts der verfügbaren Unternehmensressourcen am besten geeignet ist. Der Leitfaden beschreibt die benötigten Daten, die benötigten Emissionsfaktoren sowie die Anleitung zur Datenerfassung.

Die Daten, die Unternehmen zur Berechnung von Scope-3-Emissionen verwenden können, sind entweder primär oder sekundär. **Primäre Daten** beziehen sich auf Emissionen aus bestimmten Aktivitäten innerhalb der Wertschöpfungskette eines Unternehmens, einschließlich des anbieterspezifischen Energieverbrauchs, oder auf Emissionsdaten, die von Lieferanten bereitgestellt werden. **Sekundäre Daten** sind Branchendurchschnitte aus veröffentlichten Datenbanken, Regierungsstatistiken, Branchenverbänden, Finanz- und Proxydaten. Für Sekundärdaten können Unternehmen international anerkannte oder von Fachleuten geprüfte Datenbanken verwenden. Das Protokoll enthält sekundäre Datenquellen, die Unternehmen bei der Berechnung von Scope-3-Emissionen berücksichtigen können (Kasten 2.3).

Kasten 2.3 Überblick über sekundäre Datenquellen für die Schätzung von Scope-3-Emissionen

Die vom Greenhouse Gas Protocol vorgeschlagenen Datenquellen erfüllen zwei Kriterien: Sie bieten den Nutzern einen direkten Zugang, ohne dass sie spezielle Software-Tools kaufen müssen, und sie stellen Online-Ressourcen zur Verfügung, in denen die Nutzer die Dokumentation und zusätzliche Informationen einsehen können. Zu den Datenquellen, die als Beispiele aufgeführt sind, gehören die folgenden:

- **Die European Aluminium Association (EAA)** stellt aktuelle Lebenszyklusinventare (LCI) für die Aluminiumproduktion und -verarbeitung in Europa zur Verfügung.
- **Das European Copper Institute (ECI)** bietet Ökobilanzen für drei Arten von Kupferprodukten: Rohre, Bleche und Drähte.
- **Global LCA Data Access (GLAD)**, ein Zusammenschluss von Datenanbietern, bietet ein globales Netzwerk von Ökobilanzdatenbanken, das mehrere Datenquellen miteinander verbindet, um Ökobilanzen so zu unterstützen, dass Entscheidungen im Bereich Nachhaltigkeit erleichtert werden.
- **Greenhouse gases, Regulated Emissions, and Energy use in Transportation (GREET)** bietet Daten zu Energie- und Emissionsauswirkungen fortschrittlicher Fahrzeugtechnologien und

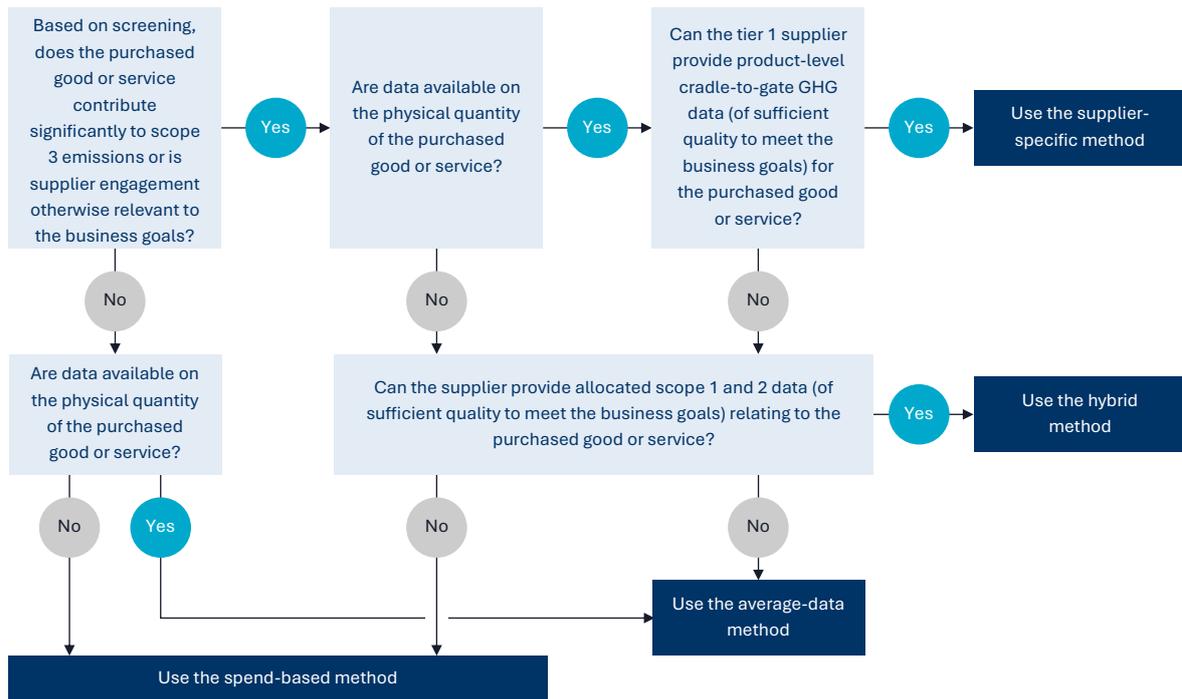
neuer Kraftstoffe für den Transport, den Kraftstoffkreislauf von der Quelle bis zum Rad und den Fahrzeugkreislauf bis zur Materialrückgewinnung und Fahrzeugentsorgung.

- **Das Internationale Eisen- und Stahlinstitut (IISI)** liefert LCI für vierzehn Produkte der Stahlindustrie.
- **Die IPCC Emissions Factor Database** ist eine Bibliothek von Emissionsfaktoren und anderen Parametern mit Hintergrunddokumentation und technischen Referenzen.
- **Die Tools zur Berechnung von LCI für die regionalisierte Abfallbehandlung** erlauben es Benutzern, LCI-Datensätze für die Behandlung fester Abfälle zu erstellen.
- **Scope 3 Evaluator**, ein globaler Standard für die Bilanzierung von Treibhausgasemissionen in der Wertschöpfungskette, erlaubt es Nutzern, Emissionen für alle 15 Scope-3-Kategorien abzuschätzen. Er hilft Unternehmen, die ersten Schritte bei der Messung und Berichterstattung von Scope-3-Emissionen zu unternehmen. Unternehmen können diese Informationen nutzen, um Bereiche zu identifizieren, in denen sie eine genauere Bestandsaufnahme vornehmen und ihre Anstrengungen zur Emissionsreduzierung in den Mittelpunkt stellen sollten.

Quelle: (Greenhouse Gas Protocol, 2023[20]).

Das Protokoll bietet dann Entscheidungsbäume für jede Scope-3-Emissionskategorie, die bei der Ermittlung der Berechnungsmethode helfen. Abbildung 2.8 veranschaulicht den Entscheidungsbaum für Emissionen aus dem Kauf von Waren und Dienstleistungen.

Abbildung 2.8 Entscheidungsbaum für die Auswahl einer Berechnungsmethode für Emissionen aus gekauften Waren und Dienstleistungen



Quelle: (Greenhouse Gas Protocol, 2013[19]).

Zu den Methoden für die Berechnung und Schätzung von Scope-3-Emissionen gehören (Tabelle 2.2):

- **Die lieferantenspezifische Methode** sammelt Treibhausgas-Inventardaten auf Produktebene über den gesamten Lebenszyklus von Lieferanten von Waren und Dienstleistungen.
- **Die hybride Methode** verwendet eine Kombination aus der lieferantenspezifischen Methode und Sekundärdaten, um die Lücken zu füllen. Dazu gehört die Berechnung der vorgelagerten Emissionen von Waren und Dienstleistungen aus den Aktivitätsdaten der Lieferanten für die verwendeten Materialien, Brennstoffe, Elektrizität, aus der Entfernung des Transports oder der Abfallerzeugung bei der Herstellung von Waren und Dienstleistungen.
- **Die Durchschnittsdatenmethode** schätzt die Emissionen für Waren und Dienstleistungen, indem sie Daten über die Masse oder andere relevante Einheiten der gekauften Waren und Dienstleistungen sammelt und mit den entsprechenden sekundären Emissionsfaktoren multipliziert.
- **Die ausgabenbasierte Methode** schätzt die Emissionen für Waren und Dienstleistungen, indem sie Daten über den Währungswert der gekauften Waren und Dienstleistungen sammelt und diese mit den entsprechenden sekundären Emissionsfaktoren multipliziert.

Tabelle 2.2 Berechnungsmethoden und Datenanforderungen für Scope-3-Emissionen von eingekauften Gütern und Dienstleistungen

Berechnungsmethode	Erforderliche Tätigkeitsdaten	Erforderlicher Emissionsfaktor
Lieferantenspezifische Methode	<ul style="list-style-type: none"> • Mengen oder Einheiten von gekauften Waren und • Dienstleistungen 	<ul style="list-style-type: none"> • Lieferantenspezifische Emissionsfaktoren für die von den Lieferanten bezogenen Waren oder Dienstleistungen

<p>Hybride Methode</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Zugewiesene Scope-1- und Scope-2-Daten von Lieferanten, die sich auf die von dem berichtenden Unternehmen eingekauften Waren oder Dienstleistungen beziehen. • Masse oder Menge der vom Lieferanten für die Herstellung der eingekauften Waren verwendeten Materialien. • Masse oder Menge der vom Lieferanten für die Herstellung der eingekauften Waren verwendeten Brennstoffe. Entfernung zwischen dem Ursprung der Rohstoffe und dem Lieferanten. • Abfallmengen, die der Lieferant bei der Herstellung der gekauften Waren produziert. • Andere Emissionen, die ggf. bei der Bereitstellung der gekauften Waren emittiert werden. 	<p>Je nachdem, welche Aktivitätsdaten vom Lieferanten erhoben wurden, müssen die Unternehmen möglicherweise folgende Daten erfassen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Emissionsfaktoren über den gesamten Lebenszyklus von Materialien, die vom Lieferanten der Stufe 1 für die Herstellung der gekauften Waren verwendet werden. • Lebenszyklus-Emissionsfaktoren für Kraftstoff, der für den eingehenden Transport von Einsatzstoffen zum Lieferanten der Stufe 1 verwendet wird. • Emissionsfaktoren für Abfälle, die von Lieferanten der Stufe 1 bei der Herstellung von gekauften Waren anfallen. <p>Die erforderlichen sekundären Emissionsfaktoren hängen auch davon ab, welche Daten verfügbar sind:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Emissionsfaktoren über den gesamten Lebenszyklus der gekauften Waren oder Dienstleistungen pro Masseneinheit oder Stück • Emissionsfaktoren über den gesamten Lebenszyklus der gekauften Waren oder Dienstleistungen pro Einheit des wirtschaftlichen Wertes
<p>Durchschnittsdatenmethode</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Masse oder Anzahl der gekauften Waren und Dienstleistungen für ein bestimmtes Jahr 	<ul style="list-style-type: none"> • Emissionsfaktoren über den gesamten Lebenszyklus der gekauften Waren oder Dienstleistungen pro Masseneinheit oder Produkteinheit
<p>Ausgabenbasierte Methode</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Betrag, der für gekaufte Waren und Dienstleistungen ausgegeben wurde, nach Produkttyp, unter Verwendung von Marktwerten 	<ul style="list-style-type: none"> • Emissionsfaktoren über den gesamten Lebenszyklus der gekauften Waren oder Dienstleistungen pro Einheit des wirtschaftlichen Wertes

Quelle: (Greenhouse Gas Protocol, 2013[19]).

Standards für die Berichterstattung über Scope-3-Emissionen

Nach Schätzung der Scope-3-Emissionen enthält das Protokoll Leitlinien für die Berichterstattung darüber. Einem Unternehmen wird Folgendes empfohlen:

- Scope-3-Emissionen getrennt von Scope-1- und Scope-2-Emissionen aufzuführen
- Scope-3-Emissionen für jede Kategorie gesondert auszuweisen
- Angaben in CO₂-Äquivalenten zu machen
- Die Arten und Quellen der verwendeten Daten sowie eine Beschreibung der Datenqualität anzugeben
- Die zur Berechnung der Scope-3-Emissionen verwendete Methode anzugeben

Unter den 8 größten Unternehmen in Hamburg geben nicht alle Unternehmen, die über Scope-3-Emissionen berichten, die Art der Daten, die Datenqualität und die Methodik an. Hapag-Lloyd bereite zum Beispiel eine Scope-3-Rechnung vor, die in der zweiten Hälfte des Jahres 2023 in seinem Nachhaltigkeitsbericht verfügbar sein sollte.

Tabelle 2.3 Top 8 der größten Unternehmen und Scope-3-Emissionen

Unternehmen	Berichtet Scope 3 getrennt von Scope 1 und Scope 2	Berichtet die Kategorien der Scope-3-Emissionen separat	Berichtet in CO ₂ -Äquivalenten	Berichtet die Arten, Datenquellen und die Datenqualität	Methodik des Berichts
Hapag-Lloyd	JA	JA	JA	-	-
Aurubis AG	JA	JA	JA	JA	-
Otto GmbH & Co	-	-	-	-	-
Vattenfall GmbH	JA	JA	JA	JA	JA
Airbus Operations GmbH	JA	JA	JA	JA	JA
Beiersdorf AG	JA	JA	JA	JA	JA
ArcelorMittal GmbH	-	-	-	-	-
Nordex SE	JA	JA	JA	JA	JA

Quelle: (Hapag-Lloyd, 2022[3]) (Aurubis, 2023[4]) (Otto Group, 2022[5]) (Vattenfall, 2022[6]) (Maxingvest AG, 2022[7]) (Marquad & Bahls, 2020[8]) (Beiersdorf, 2022[9]) (Airbus, 2022[10]) (ArcelorMittal, 2021[11]) (Nordex, 2022[12]).

Wichtige Maßnahmen

Sofortmaßnahmen

- Unternehmen sollten sich ein Netto-Null-Emissionsziel setzen, mit klaren Zwischenzielen in Abständen von z. B. 5 Jahren, zumindest für Scope-1- und Scope-2-Emissionen.
- Unternehmen sollten die Emissionen von Scope 1 und 2 bewerten. Sie sollten mit der Bewertung der Scope-3-Emissionen sowie der damit verbundenen Klimarisiken und -chancen beginnen.
- Unternehmen sollten einen Maßnahmenplan erstellen, um das Netto-Null-Ziel bis 2040 zu erreichen.
- Die HK sollte bei diesen Schritten behilflich sein und Arbeitsgruppen einrichten, die den Wissensaustausch und die Koordinierung erleichtern.
- Unternehmen sollten in gerechte Umstellungsanstrengungen investieren. So sollten beispielsweise alle Unternehmen, die in Entwicklungsländern tätig sind, nachweisen, wie ihre Pläne zur Netto-Null-Umstellung zur wirtschaftlichen Entwicklung der Regionen beitragen, in denen sie tätig sind.

Bis 2030

- Auf der Grundlage der geschätzten Scope-3-Emissionen sollten Unternehmen darauf hinarbeiten, in ihren Lieferketten Klimaneutralität zu erreichen, indem sie wissenschaftlich fundierte Emissionsreduzierungsszenarien im Einklang mit dem Übereinkommen von Paris verfolgen.
- Unternehmen, die zur Berichterstattung verpflichtet sind, sollten ihre Treibhausgasemissionen und andere relevante Kennzahlen, wie den Energieverbrauch, sowie die verwendeten Methoden öffentlich bekannt geben. Sie sollten Netto-Null-Ziele, Zwischenziele und den Maßnahmenplan zur Erreichung ihres Netto-Null-Ziels offenlegen, einschließlich Maßnahmen zur Reduzierung von

Scope-3-Emissionen im Einklang mit dem Übereinkommen von Paris. Sie sollten über ihre Fortschritte bei den Zwischenzielen berichten. Die Offenlegungen müssen genau und zuverlässig sein. Die Unternehmen können sich auch um eine unabhängige Bewertung ihrer jährlichen Fortschrittsberichte und Offenlegungen bemühen.

- Die HK sollte eine öffentliche Plattform schaffen, um die Fortschritte bei diesen Maßnahmen zu überwachen, Orientierungshilfen zu geben sowie den Wissensaustausch und die Koordinierung zu erleichtern.
- Die HK kann Leitlinien für all diese Schritte bereitstellen und Arbeitsgruppen bilden, die den Wissensaustausch und die Koordinierung erleichtern.

Bis 2040

- Unternehmen sollten ihre eigenen Scope-1- und Scope-2-Emissionen bis 2050 auf Null reduzieren, sodass nur bei einigen schwer zu dekarbonisierenden Aktivitäten positive Emissionen übrigbleiben. Diese können durch den Kauf von Emissionsgutschriften ausgeglichen werden.
- Die Unternehmen und die HK sollten hochwertige, zertifizierte Kompensationen für die verbleibenden Emissionen finden.
- Die HK kann bei diesen Schritten behilflich sein und Arbeitsgruppen einrichten, die den Wissensaustausch und die Koordinierung erleichtern.

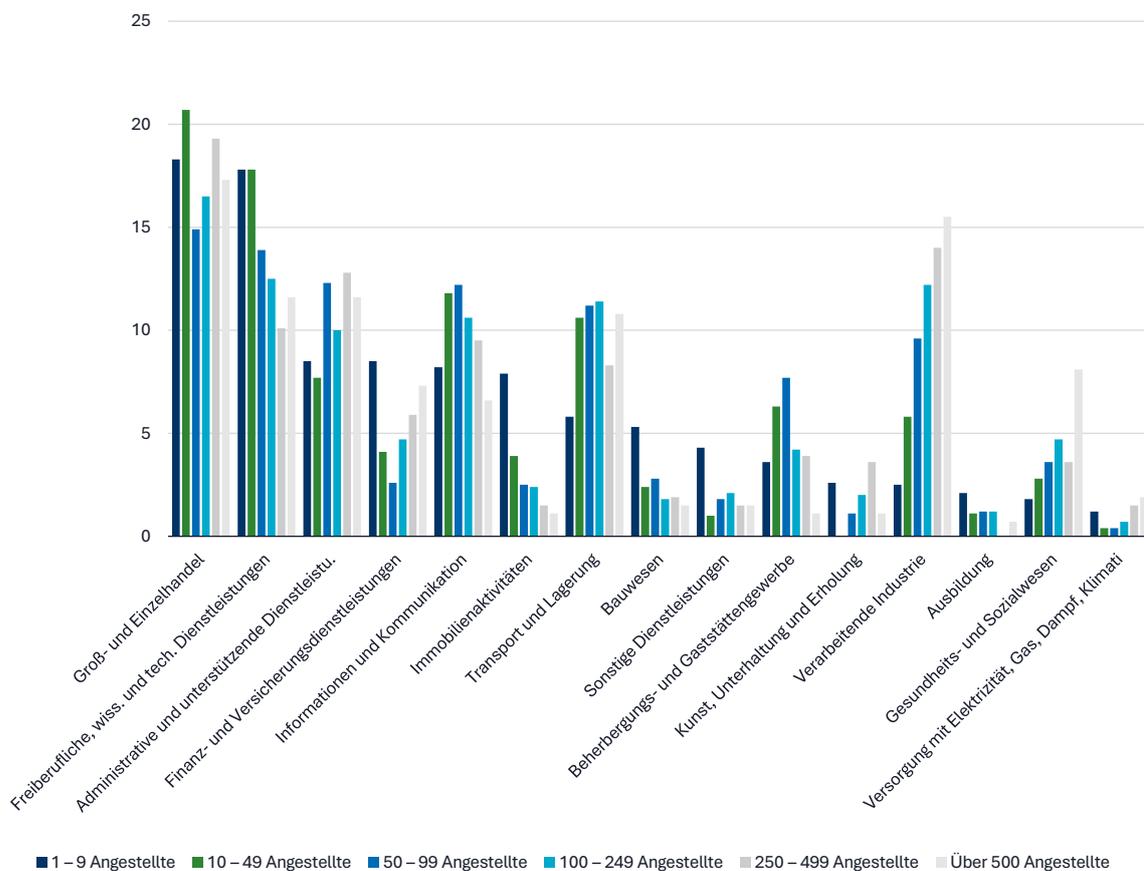
Netzwerke für KMU, um klimaneutrale Geschäftsmodelle aufzubauen

Kleine und mittlere Unternehmen (KMU)¹ sind die Hauptakteure, um Netto-Null-Emissionen zu erreichen. In den OECD-Ländern entfallen auf KMU mindestens 50 % der Treibhausgasemissionen und 30–60 % des Energieverbrauchs in den Wirtschaftssektoren (OECD, 2022[21]). Das flexible, risikofreudige Profil von KMU macht sie außerdem zu wichtigen Akteuren bei der Entwicklung und Einführung grüner Innovation. Die Entwicklung sauberer Innovation ist mit einem hohen Risiko verbunden, das große Unternehmen oft nicht eingehen wollen. Zur Veranschaulichung: In Großbritannien machen KMU rund 90 % der Unternehmen für saubere Technologien aus (OECD, 2022[21]).

Hamburgs Wirtschaftslandschaft umfasst eine große Anzahl von KMU, insbesondere KMU mit weniger als 50 Mitarbeitern. Sie sind besonders zahlreich im Groß- und Einzelhandel (Abbildung 2.9). KMU in diesem Sektor stehen wahrscheinlich vor den gleichen Herausforderungen, wenn es darum geht, ihre Geschäftsmodelle mit der Klimaneutralität in Einklang zu bringen, zum Beispiel bei der Bewertung und Reduzierung von Scope-3-Emissionen. Manche von ihnen haben möglicherweise enge Verbindungen zum Hafen. KMU sind auch stark in den Bereichen Transport, Immobilien und Bauwesen engagiert. Der Verkehr umfasst manche der am schwierigsten zu dekarbonisierenden Aktivitäten, insbesondere im Frachtverkehr (Kapitel 3), während Bauunternehmen einen wichtigen Beitrag zur Dekarbonisierung von Gebäuden leisten werden. KMU, die in bestimmten beruflichen, wissenschaftlichen und technischen Bereichen tätig sind, können sich an der Entwicklung und Verbreitung grüner Technologien beteiligen. In diesem Abschnitt wird argumentiert, dass KMU viel davon profitieren können, in Netzwerken zusammenzuarbeiten, um diese Herausforderungen gemeinsam anzugehen.

Abbildung 2.9 KMU sind hauptsächlich in den Sektoren Handel und Unternehmensdienstleistungen zu finden

Anteil der Sektoren an der Zahl der Unternehmen in jeder Größenklasse, in Prozent



Anmerkung: Sektoren, die weniger als 1 % der Unternehmen in einer Kategorie ausmachen, werden nicht berücksichtigt. Quelle: Statistikamt Hamburg (2022).

Den KMU fehlt es oft an den Ressourcen, die für die Umstellung auf Klimaneutralität erforderlich sind. Sie haben einen begrenzteren Zugang zu neuen Technologien, Informationen und Finanzmitteln, was sie daran hindert, in die für die Dekarbonisierung erforderlichen Technologien zu investieren. Im Jahr 2021 führte die britische Handelskammer eine Umfrage durch, aus der hervorging, dass nur 10 % der KMU ihre Treibhausgasemissionen messen, während eine koreanische Umfrage zeigt, dass 31 % der Meinung sind, dass das Haupthindernis ein Mangel an Informationen über die zu verwendenden Methoden ist (OECD, 2022[21]). Angesichts ihrer begrenzten Ressourcen können Marktunsicherheit und Risiken KMU stärker treffen und sie anfälliger machen. In Korea glauben 60 % der KMU, dass das Netto-Null-Ziel ihre Wettbewerbsfähigkeit beeinträchtigt. In der Metropolregion Hamburg haben KMU mehr Schwierigkeiten bei der Innovation und der Übernahme digitaler Technologien als in anderen Regionen (OECD, 2019[22]).

Kasten 2.4 Cluster-Netzwerke in Hamburg

Der von der Stadt Hamburg verfolgte Ansatz legt den Schwerpunkt auf Industriecluster. Im Rahmen der Hamburger „InnovationsAllianz“ arbeitet die Stadt mit Akteuren aus verschiedenen Bereichen

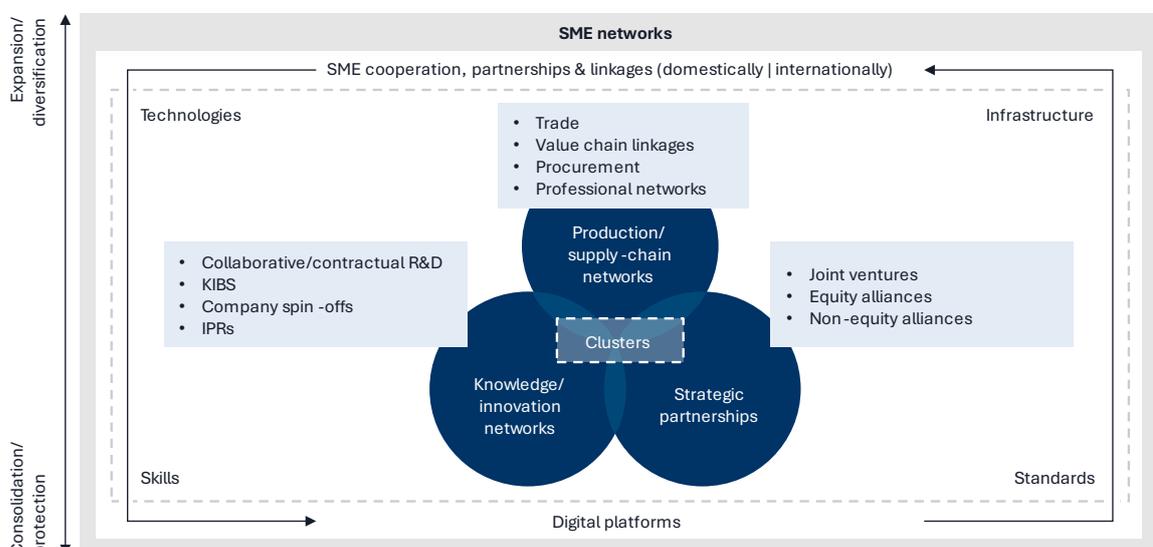
zusammen, darunter Wissenschaft, Wirtschaft, Politik, Institutionen und Verbände, um die wichtigsten Aktivitäten für die Clusterentwicklung zu identifizieren. Jedes Cluster wird durch ein zentrales Managementsystem koordiniert, das von den lokalen Behörden überwacht wird, und finanziert sich durch eine Kombination aus Mitgliedsbeiträgen und öffentlicher Unterstützung. Sie geben regelmäßig Empfehlungen für politische Maßnahmen ab.

Hamburgs strategische Cluster umfassen im Einklang mit der Strategie der intelligenten Spezialisierung eine Reihe von Sektoren, beispielsweise „Life Sciences“, „Logistik“, „Luftfahrt“, „Medien & IT“, „Erneuerbare Energien“, „Kreativwirtschaft“, „Finanzen“ und „Maritime Wirtschaft“. Darüber hinaus soll bis Ende 2023 ein neues Lebensmittelcluster entstehen, das die Hamburger Wirtschaftslandschaft um einen weiteren bedeutenden Sektor bereichert.

Die Clusteragenturen haben selbst keine spezifischen Klimaneutralitätsziele, sondern tragen durch ihre Projekte zur Umsetzung allgemeiner oder sektoraler Anforderungen bei. Bemerkenswerte Beiträge zu diesen Anstrengungen leisten unter anderem Agenturen wie Renewable Energy Hamburg (EEHH), Hamburg Aviation (HAV), Logistics Initiative Hamburg (LIHH) und Maritime Cluster Norddeutschland (MCN).

Die Teilnahme an einem Netzwerk kann KMU den Übergang zur Klimaneutralität erleichtern, wenn Wissen und Ressourcen gebündelt werden. Diese Netzwerke lassen sich in der Regel in vier Kategorien einteilen: Produktions-/Lieferkettennetzwerke, Wissens-/Innovationsnetzwerke und strategische Partnerschaften oder Cluster (Abbildung 2.10; (OECD, 2023[23])). Netzwerke bieten einen effizienten Weg für den Zugang zu Wissen und erlauben es, Größenvorteile bei der Nutzung dieses Wissens zu nutzen. Darüber hinaus kann die Teilnahme an einem Netzwerk dazu beitragen, Unsicherheiten zu mindern. Netzwerke können auch den Zugang zu finanziellen Ressourcen erleichtern. Darüber hinaus können KMU, die sich als umweltbewusste Unternehmen etablieren wollen, die Mitgliedschaft in Netzwerken anstreben, die hohe Nachhaltigkeitsstandards einhalten, um Geschäftsmodelle mit klimaneutralen Lösungen zu vermarkten. Abbildung 2.6 deutet darauf hin, dass viele Hamburger Unternehmen der Meinung sind, solche Netzwerke seien nicht ausreichend vorhanden. Die HK sollte ihre Entwicklung fördern. Manche Cluster-Initiativen sind von der Landesregierung entwickelt worden (Kasten 2.4).

Abbildung 2.10 Typologie von KMU-Netzwerken



Kasten 2.5 Unternehmensnetzwerke können eine Reihe von Ressourcenbedürfnissen von KMU für den Übergang zur Klimaneutralität bedienen

Ein Netzwerk verbindet Unternehmen miteinander und ermöglicht Transaktionen, die nicht über Märkte vermittelt werden können, einschließlich Wissenstransfer. Im Fall von KMU-Netzwerken sind die Einheiten Unternehmen, und die übertragbaren Ströme können Technologien, Daten, Verhaltensweisen und implizites Wissen (Know-how) sein. Es gibt vier Kanäle, über die Transaktionen stattfinden:

- **Netzwerke in der Lieferkette:** Sie verbinden die Aktivitäten von Unternehmen, die an der Produktion einer Ware oder Dienstleistung beteiligt sind. Die Akteure (z. B. Lieferanten, Konkurrenten, multinationale Unternehmen usw.) sind durch Handel, Investitionen, professionelle Netzwerke, digitale Plattformen oder Netzwerkeinrichtungen miteinander verbunden. Sie tauschen Produkte, Dienstleistungen, Finanzströme, Innovation und immaterielle Vermögenswerte aus. Als Teil des Netto-Null-Kohlenstoff-Übergangs könnte ein großes Unternehmen seine KMU-Lieferanten betrieblich und finanziell unterstützen, damit sie umweltfreundlichere Technologien nutzen können. Das Supplier Clean Energy Program von Apple beispielsweise ist ein Programm, das den Lieferanten von Apple helfen soll, ihre Produktion zu dekarbonisieren. Im Rahmen dieses Programms arbeitet Apple eng mit seinen Lieferanten zusammen, um Lösungen zur Verringerung ihres Energieverbrauchs und ihrer CO₂-Bilanz zu finden und umzusetzen.
- **Wissensnetzwerke:** Ein kollaborativer Rahmen für die Entwicklung und den Austausch von Wissen und Innovation. Die beteiligten Akteure sind innovative KMU, Hochschulen, öffentliche Forschungsinstitute, Regierungen und Vermittler. Diese Akteure teilen kodifiziertes und implizites Wissen, F&E, Daten, Fähigkeiten, Technologie, Finanzierung und immaterielle Vermögenswerte durch vertragliche oder kollaborative F&E, Beratung, wissensintensive Unternehmensdienstleistungen (KIBS), Schulung, Arbeitskräftemobilität, Patentierung und Lizenzierung, Spin-offs, digitale Plattformen und Netzwerkeinrichtungen. Ein Beispiel für ein Wissensnetzwerk zur Beschleunigung des Übergangs zu einer kohlenstofffreien Wirtschaft ist die EIT Climate-KIC, eine europäische Wissens- und Innovationsgemeinschaft (Knowledge and Innovation Community, KIC). Sie bringt verschiedene Akteure der grünen Innovation zusammen, darunter Unternehmen, Universitäten und öffentliche Einrichtungen. Außerdem beschafft und investiert die EIT Climate-KIC Gelder, entwickelt Bildungsprogramme zur Verbesserung der Umweltkompetenz und hat ein Inkubationsprogramm.
- **Strategische Partnerschaften:** Formelle Zusammenarbeit zwischen zwei oder mehr Einheiten (z. B. Start-ups, multinationalen Unternehmen, Universitäten, öffentlichen Forschungsinstituten), um die Motivation für neue Produkte und/oder die Vermarktung zu entwickeln. Sie können auch Infrastrukturen durch F&E-Joint-Ventures, Forschungskonsortien, gemeinsame F&E-Vereinbarungen und Minderheitsbeteiligungen, Lizenzierung oder Franchising austauschen. Die Yulex Corporation ist ein Beispiel für ein KMU, das eine strategische Partnerschaft mit einem größeren Unternehmen (Patagonia) eingegangen ist, um sich an der Dekarbonisierung der Wirtschaft zu beteiligen. Ihre Zusammenarbeit galt der Entwicklung und Verwendung von Materialien auf Pflanzenbasis für Neoprenanzüge anstelle von synthetischem Neopren, das die Umwelt stark belastet.

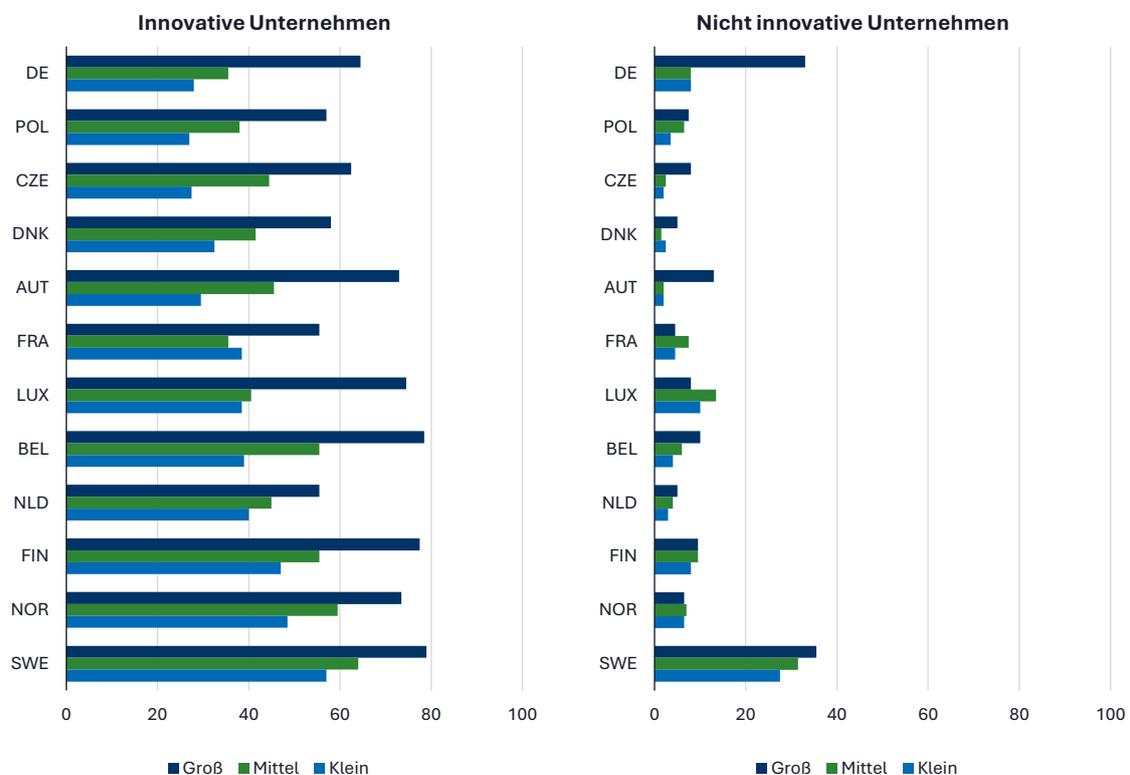
- **Cluster:** Miteinander verbundene Einheiten wie Unternehmen, Hochschulen, Forschungsinstitute und Technologieanbieter, Brückeninstitutionen oder Kunden. Cluster können sich um ein geografisches Gebiet oder um eine sektorale Nähe organisieren. Das Cluster für nachhaltige Verpackungen in Katalonien, Spanien, ist ein Clusterprogramm, das Verbindungen zwischen KMU und anderen Akteuren fördert, um umweltfreundliche Verpackungen zu entwickeln und die Verbreitung grüner Verpackungstechnologien zu unterstützen.

Netzwerke sind ein Schlüsselfaktor für die Dekarbonisierung von KMU

- Wissens- und Innovationsnetzwerke sind unerlässlich für die Schaffung und Verbreitung von Innovation, die KMU für klimaneutrale Geschäftsmodelle benötigen. Kleine Unternehmen, die kooperieren, sind innovativer als große Unternehmen, die nicht kooperieren (Abbildung 2.11). Wissens- und Innovationsnetzwerke können öffentliche Einrichtungen, Unternehmen, Hochschuleinrichtungen oder öffentliche Forschungsinstitute miteinander verbinden, um Wissen, Fachkenntnisse und neue Technologien auszutauschen.

Abbildung 2.11 Innovative Unternehmen kooperieren mehr als nicht innovative Unternehmen

Anteil der Unternehmen, die im Rahmen ihrer geschäftlichen Aktivitäten mit anderen Unternehmen oder Organisationen zusammenarbeiten, nach Größenklasse, jeweils unter nicht innovativen und unter innovativen Unternehmen (2020).



Quelle: (OECD, 2023[23]).

Wissensnetzwerke helfen KMU, klimaneutrale Geschäftspraktiken zu geringeren Kosten einzuführen. Das für die Entwicklung von Innovation benötigte Wissen ist zunehmend spezialisiert und umfangreich, was die Kosten für den Erwerb dieses Wissens erhöht. Der Beitritt zu einem Netzwerk, um Zugang zu diesem Wissen zu erhalten, ist eine Lösung für KMU, die innovativ sein und gleichzeitig die Kosten teilen wollen. Wissensnetzwerke ermöglichen es KMU, Daten oder physische Infrastrukturen zu bündeln und so erhebliche Größenvorteile zu erzielen. Ganz allgemein bietet die Zugehörigkeit zu einem Netzwerk von Akteuren wissensbasierter Informationssysteme den KMU nicht nur Zugang zu wissenschaftlichen und technologischen Dienstleistungen, sondern auch zu Dienstleistungen in den Bereichen Recht, Buchhaltung und Management, Ingenieurwesen, F&E und IT-Systeme sowie zu Design- und Werbedienstleistungen, um nur einige zu nennen. Diese Arten von Dienstleistungen stehen nicht im Mittelpunkt der Aktivitäten von KMU, aber sie sind für ihr Überleben und die Dynamik des Wirtschaftsgefüges unerlässlich.

Netzwerke können den Zugang zu Finanzmitteln auf verschiedene Weise erleichtern. Viele Wissensnetzwerke helfen KMU bei der Suche und Beschaffung privater und öffentlicher Mittel, manche verfügen sogar über eigene Fonds. Die EIT Climate KIC beispielsweise beschafft und investiert Mittel zur Finanzierung von grünen Projekten, die von KMU entwickelt wurden (Kasten 2.5). Risikokapitalgeber und Angel Investors können dank ihres Managements und ihrer strategischen Ressourcen wichtige Partner für Start-ups sein, aber sie sind manchmal schwer zu erreichen. Die Teilnahme an Netzwerkprogrammen bietet die Möglichkeit, Investoren zu treffen. Schließlich können KMU durch strategische Partnerschaften von größeren Unternehmen finanziert werden.

Der Zugang zu Daten auf Unternehmensebene ist besonders wichtig. Netzwerke können helfen, indem sie den Zugang zu Technologien und Quellen ermöglichen. KMU müssen Bereiche mit Verbesserungsbedarf identifizieren. Die Messung des Stromverbrauchs zum Beispiel hilft, den Strombedarf zu verstehen.

Dieses Wissen kann auch über das Netzwerk der Lieferkette weitergegeben werden, durch Beziehungen zwischen Käufern und Lieferanten, zwischen Mutter- und Tochtergesellschaften oder durch strategische Partnerschaften. Größere Unternehmen, die über mehr Ressourcen verfügen, könnten KMU dabei helfen, sich über bestehende grüne Technologien und bewährte Praktiken zu informieren und diese zu implementieren, um so Netto-Null-Wertschöpfungsketten zu sichern. Im Rahmen des Aligned Business Framework Program ermutigt und unterstützt Ford beispielsweise seine Lieferanten bei der Einführung energieeffizienter Technologien.

Durch Netzwerke in der Lieferkette oder strategische Partnerschaften können KMU Einblicke in ihre Lieferkettenvorgänge und deren Dekarbonisierung gewinnen. Große Unternehmen müssen sich an immer strengere Umweltvorschriften halten. Außerdem werden sie immer genauer überwacht und als verantwortlich für die gesamte Produktionskette angesehen. Infolgedessen achten multinationale Unternehmen zunehmend auf die Umweltleistung der KMU, mit denen sie zusammenarbeiten. Nach der Verabschiedung der Richtlinie über die Nachhaltigkeitsberichterstattung von Unternehmen (Corporate Sustainability Reporting Directive, CSRD) haben beispielsweise mehrere große europäische Unternehmen Verträge mit KMU gekündigt, die keine Berichte über ihre Nachhaltigkeitsleistung vorgelegt hatten.

Netzwerke können auch dazu dienen, Umweltstandards festzulegen und zu Marketingzwecken die Mitglieder bekannt zu geben, die diese Standards erfüllen. Die Teilnahme an solchen Netzwerken ermöglicht es KMU, mehr Informationen über die zu erreichenden Umweltstandards zu erhalten und sich als „Umsetzer“ dieser Standards auszuweisen, auch in Bezug auf die Senkung von Emissionen. Die Identifizierung als „grünes“ Unternehmen ist wichtig für den Ruf und trägt dazu bei, die Sichtbarkeit bei

Kunden, Investoren, Arbeitnehmern und Verbrauchern zu erhöhen, die Zugang zu ökologisch leistungsstarken KMU benötigen.

Wichtige Maßnahmen

Sofortmaßnahmen

- Die HK kann ermitteln, inwieweit Hamburger KMU in Netzwerke eingebunden sind, die die für das Erreichen der Klimaneutralität erforderlichen Transformationen unterstützen.
- Die HK kann die Schaffung von Netzwerken unterstützen, die die für die Klimaneutralität erforderliche Transformation unterstützen, indem sie Akademiker, Forschungseinrichtungen, KMU und große Unternehmen einbezieht, um Informationen über Technologien und bewährte Praktiken auszutauschen. Die Netzwerke könnten eine Online-Plattform und regelmäßige Treffen/Veranstaltungen anbieten.
- Unternehmen sollten mit Unterstützung der Handelskammer die Schaffung von Netzwerken zu strategischen Themen, die in diesem Bericht genannt werden, initiieren. Beispiele sind koordinierte Dekarbonisierung in Wertschöpfungsketten, Kosteneinsparungen durch bessere Nutzung erneuerbarer Energien (dieses Kapitel); Infrastrukturbedarf durch die Elektrifizierung des Straßengüterverkehrs (Kapitel 3) und die Kreislaufwirtschaft (Kapitel 4).

Bessere Nutzung kostengünstiger erneuerbarer Energien

Dieser Abschnitt zeigt, wie Hamburger Unternehmen von kostengünstigem Strom aus fluktuierenden erneuerbaren Energien (FEE) profitieren können, indem sie sich an deren intermittierenden Charakter anpassen. Deutschland hat sich das ehrgeizige Ziel gesetzt, bis 2030 einen Anteil von 80 % an erneuerbaren Energien zu erreichen (OECD, 2023[24]), und die IEA prognostiziert einen Anstieg der Stromnachfrage um 50 % in einem Szenario mit Netto-Null-Emissionen bis 2050 (IEA, 2022[25]). Die Nutzung von günstigem Strom aus erneuerbaren Energien, wenn er im Überfluss vorhanden ist, wird immer wichtiger werden, da die Nutzung von Strom aus erneuerbaren Energien schnell zunehmen muss, um fossile Brennstoffe zu ersetzen.

Es gibt ein Geschäftsszenario für fluktuierende erneuerbare Energien (FEE)

Fluktuierende erneuerbare Energien haben die niedrigsten Stromerzeugungskosten, selbst wenn man die Kosten für die Batteriespeicherung mit einbezieht (Kasten 2.6). Es wird erwartet, dass FEE in Deutschland eine bedeutende Rolle spielen werden, insbesondere in Norddeutschland, das das Potenzial hat, mit einer hohen Onshore-Windenergieproduktion in der Region Schleswig-Holstein und Offshore-Windenergie in der Nordsee eine führende Rolle bei den erneuerbaren Energien zu spielen. Gemeinsame Initiativen, wie das Norddeutsche Reallabor (NRL), wurden ins Leben gerufen. Die Initiative Norddeutsche Energiewende, die zwischen 2016 und 2020 ins Leben gerufen wurde, bringt eine Koalition von 60 öffentlichen, privaten und wissenschaftlichen Akteuren aus den beiden Bundesländern Hamburg und Schleswig-Holstein zusammen. Ziel der Initiative ist es, den Energiebedarf in beiden Bundesländern bis 2035 vollständig durch erneuerbare Energien zu decken (OECD, 2019[22]). Allerdings reicht das bestehende Hochspannungsleitungsnetz derzeit nicht aus, um eine erhebliche Menge an Strom aus erneuerbaren Energien nach Hamburg zu transportieren. Diese Einschränkung könnte zu höheren Strompreisen für die Stadt führen, selbst wenn Windstrom im Überfluss vorhanden ist. Lokale

Photovoltaik-(PV-)Anlagen, insbesondere Solardachanlagen, stellen für Hamburg eine vielversprechende und kostengünstige Lösung dar, um solche Engpässe zu vermeiden. Im Jahr 2022 lag der jährliche Gesamtstrombedarf Hamburgs bei 10,4 Terawattstunden (TWh), während das geschätzte Potenzial für die PV-Erzeugung bei 6,37 TWh lag (Hamburg Klimabeirat, 2023[26]). Derzeit ist die Nutzung von Solardächern in Hamburg gering. Die installierte Kapazität der organischen Photovoltaik in Hamburg liegt bei 77 Megawatt-Peak (MWp), im Gegensatz zu den 190 MWp in Berlin.

Tabelle 2.4 Die Verbreitung von Solaranlagen auf Dächern ist in Hamburg geringer als in anderen Bundesländern

Installierte Kapazität der organischen Photovoltaik (OPV) in ausgewählten Bundesländern

Länder	Installierte Kapazität (MWp)	Installierte Leistung pro Einwohner (kWp/Einwohner)
Berlin	190	61
Bremen	66	110
Hamburg	77	44

Anmerkungen: MWp steht für Megawatt-Peak und kWp für Kilowatt-Peak. Dabei handelt es sich um eine Maßeinheit für die potenzielle Leistung von Energiequellen wie Sonnen- oder Windenergie, die Schwankungen in Abhängigkeit von Faktoren wie der Sonnenintensität oder der Windgeschwindigkeit berücksichtigt.

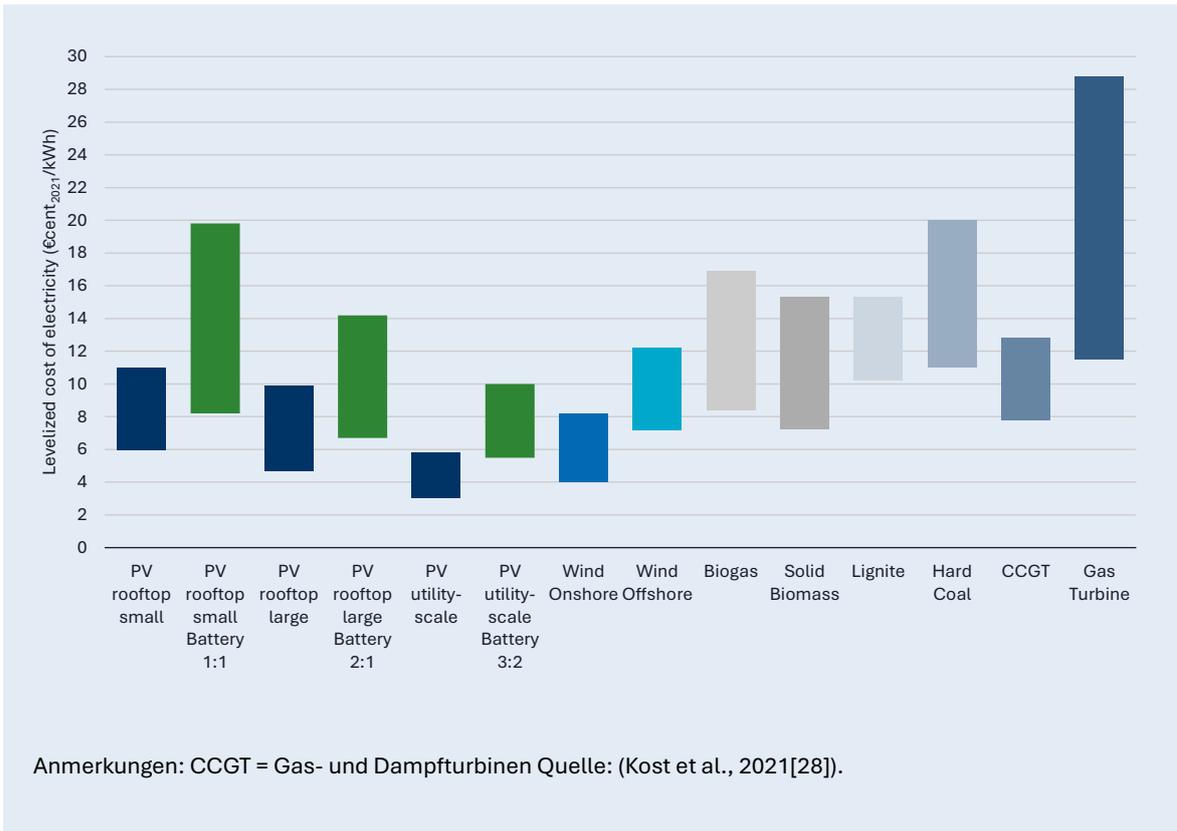
Quelle: (Hamburg Klimabeirat, 2023[26]).

Kasten 2.6 Strom aus fluktuierenden erneuerbaren Energien (FEE) ist billiger als Strom aus fossilen Brennstoffen

Die nivellierten Kosten der Stromerzeugung sind bei fluktuierenden erneuerbaren Energien am niedrigsten und dürften weiter sinken, wodurch sich der Abstand zu mit fossilen Brennstoffen befeuerten Strom vergrößert (NEA/IEA, 2020[27]). Unter den erneuerbaren Energien produzieren Solarzellen den günstigsten Strom, wenngleich Windturbinen am Land weiterhin sehr wettbewerbsfähig sind. In Deutschland wird erwartet, dass die Kosten für Photovoltaik (PV) und Offshore-Windkraftanlagen am stärksten sinken werden (Kost et al., 2021[28]).

Abbildung 2.12 Die Kosten der Stromerzeugung sind bei Solar- und Windkraftanlagen am niedrigsten

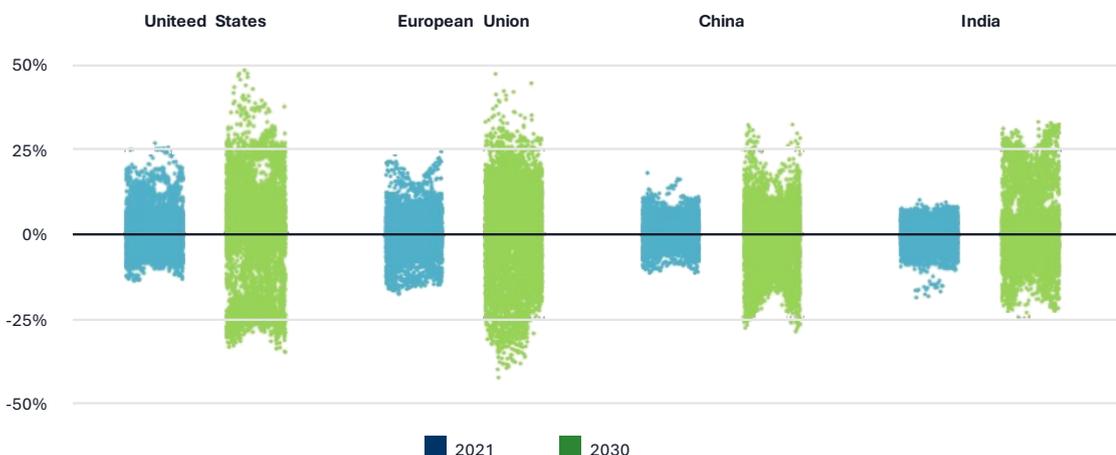
Die Stromgestehungskosten für erneuerbare Energietechnologien und konventionelle Kraftwerke in Deutschland im Jahr 2021



Die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien entspricht nicht immer der momentanen Stromnachfrage. So ist beispielsweise die Erzeugung von Solarenergie tagsüber und im Sommer am höchsten, während die Stromnachfrage in der Regel abends und in den Wintermonaten ihren Höhepunkt erreicht. Die Internationale Energieagentur (IEA) geht davon aus, dass die Notwendigkeit für Flexibilität im Elektrizitätssystem der Europäischen Union bis zum Jahr 2030 aufgrund des steigenden Anteils erneuerbarer Energien erheblich steigen wird (Abbildung 2.12).

Abbildung 2.13 Der Bedarf an stündlicher Flexibilität steigt bis 2030 in den wichtigsten Märkten deutlich an

Stündlicher Flexibilitätsbedarf in den USA, der Europäischen Union, China und Indien im Jahr 2021 und unter der Annahme, dass alle von den Regierungen für 2030 angekündigten Ziele pünktlich und vollständig erreicht werden



Anmerkung: Dies entspricht dem Announced Pledges Scenario (APS). Der Flexibilitätsbedarf ist die erforderliche Änderungsrate der Stromnachfrage von Stunde zu Stunde (Änderung der Nachfrage/Zeitraum), die erforderlich ist, um die stündliche Wind- und Solarstromproduktion an die stündliche Stromnachfrage anzupassen.

Quelle: (IEA, 2022[25]).

Die Wirtschaft kann die kostengünstigen erneuerbaren Energien durch Sektorkopplung besser nutzen. Die Sektorkopplung bezieht sich auf die engere Verzahnung von energieverbrauchenden Wirtschaftstätigkeiten mit der Stromerzeugung aus fluktuierenden erneuerbaren Energien (FEE), um die verfügbare erneuerbare Energie dann optimal zu nutzen, wenn sie besonders reichlich und daher zu den niedrigsten Kosten verfügbar ist, und um die notwendige Elektrifizierung zu nutzen. Die Elektrifizierung der Fahrzeugfuhrparks kann beispielsweise mit einer intelligenten Ladeinfrastruktur kombiniert werden. Fahrzeuge mit großen Batterien können Strom ins Netz zurückspeisen (Hossain et al., 2016[29]). Unternehmen mit Elektrofahrzeugen könnten für den Strom, den sie in Spitzenzeiten liefern, belohnt werden (Vanholme et al., 2022[30]). Dazu müssen die Unternehmen in Fahrzeuge, die Strom speichern und abgeben können, und in eine bidirektionale Ladeinfrastruktur investieren. In einem Verkehrsknotenpunkt wie Hamburg kann das effiziente Management eines Fuhrparks von Elektrofahrzeugen ein besonders wertvolles Werkzeug sein.

Für schwer zu elektrifizierende Bereiche wie die Schwerindustrie oder die Schifffahrt kann die Sektorkopplung auch die Umwandlung von erneuerbarem Strom in andere speicherbare Träger beinhalten, ein Konzept, das als Power-to-X-Technologie bezeichnet wird (Erbach, 2019[31]). Power-to-Gas bezieht sich beispielsweise auf die Umwandlung des überschüssigen Stroms in Wasserstoff oder synthetische gasförmige Brennstoffe (Gea-Bermúdez et al., 2021[32]), die von der Hamburger Industrie, insbesondere der Stahl- und Chemieproduktion, genutzt werden könnten. Die Power-to-Heat-Technologie bezieht sich auf die Umwandlung von Strom in Wärme, z. B. mit einer Wärmepumpe.

Die Sektorkopplung schafft kollektive Vorteile. Sie erhöht nämlich die Kapazitätsauslastung bei der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien und verbessert die Netzeffizienz, wodurch die Kosten für die Dekarbonisierung durch den Ausbau der Infrastruktur gesenkt und gleichzeitig der Übergang zur Klimaneutralität beschleunigt wird. Für Deutschland würde ein Szenario mit Sektorkopplung im Vergleich zu einem vollständigen Stromszenario bis 2050 eine jährliche Kosteneinsparung von 12 Mrd. € bringen (Van Nuffel et al., 2018[33]), was etwa 15 % der jährlichen Stromaushgaben der letzten Jahre entspricht. Fluktuierende erneuerbare Energien (FEE) in Verbindung mit Sektorkopplung verringern die Abhängigkeit von der Volatilität der Brennstoffpreise und dem politischen Risiko fossiler Brennstoffe (Krane and Idel, 2021[34]). Die Rolle Hamburgs als Verkehrsknotenpunkt in Verbindung mit der erwarteten hohen Nachfrage nach Wasserstoff und dem noch nicht erschlossenen Potenzial von Solaranlagen auf Dächern deutet darauf hin, dass die Sektorkopplung zu erheblichen Kosteneinsparungen für die Stadt führen könnte.

Einzelne Unternehmen, die die Sektorkopplung nutzen, ziehen auch individuelle Vorteile daraus (Van Nuffel et al., 2018[33]). Erstens verbessert die Sektorkopplung die Energieeffizienz. Nach Angaben der IEA könnten die Kosten für das Laden von Fahrzeugen tagsüber, wenn die Stromnachfrage gering ist, von 0,39 € auf 0,28 € pro kWh sinken (IEA, 2023[35]), nachdem die Preise auf Schwankungen von Angebot und Nachfrage reagieren. Zudem schafft die Investition in die Sektorkopplung Synergien, da Geräte für den Endenergieverbrauch auch zur Speicherung und Abgabe von Strom genutzt werden können, um Kosten zu sparen. So können zum Beispiel Elektrofahrzeuge für den Transport oder als Stromspeicher genutzt werden. Da Hamburg zahlreiche Unternehmen im Straßengüterverkehr beherbergt, bei denen eine beschleunigte Elektrifizierung mit batterieelektrischen Fahrzeugen zu erwarten ist, stellt die Sektorkopplung eine vielversprechende Möglichkeit dar. Die Sektorkopplung kann auch die Vorteile für

Unternehmen erhöhen, die Solaranlagen auf ihren Dächern installieren und damit die Nutzung von selbst erzeugtem Strom steigern.

Förderung der Sektorkopplung durch mehr Flexibilität auf dem Strommarkt

Die politischen Entscheidungsträger sollten die Flexibilität des Strommarktes erhöhen, um Unternehmen zur Entwicklung der Sektorkopplung zu ermutigen. Eine höhere Differenzierung des Strommarktes trägt dazu bei, das fluktuierende Angebot an EE-Strom im Laufe der Zeit und an verschiedenen Standorten besser widerzuspiegeln, und fördert Investitionen in Flexibilität, auch durch Sektorkopplung (Kraftnät, 2017[36]). Der Zeitrahmen für die Großhandelspreise (Ausgleichsperiode) liegt in Deutschland derzeit bei 15 Minuten, aber es besteht die Möglichkeit, ihn weiter zu verkürzen, um ihn an die Angebotsmuster fluktuierender erneuerbarer Energien (FEE) anzupassen. Der Übergang zu einer Preisstruktur in kleineren, subnationalen Zonen oder Knotenpunkten kann die Genauigkeit der Preissignale verbessern und die Effizienz der Energiemärkte stärken, was sich positiv auf die Wettbewerbsfähigkeit auswirkt. Norddeutschland und insbesondere Hamburg könnten industrie- und hafenbezogene Aktivitäten (Kapitel 3) in Wert setzen und Vorteile aus der Umsetzung einer geografisch zugeschnittenen Strompreisgestaltung ziehen, was zu niedrigeren Preisen führen könnte (IEA, 2022[37]).

Lastmanagementprogramme können Unternehmen dazu ermutigen, ihren Stromverbrauch entsprechend den Preissignalen des Großhandels anzupassen. Politische Entscheidungsträger und Energieversorgungsunternehmen haben die Aufgabe, diese Programme verfügbar und verständlich zu machen. Programme, die auf Anreizen basieren, belohnen Teilnehmer durch direkte Zahlungen für die Anpassung an Angebotsmuster fluktuierender erneuerbarer Energien (FEE). Die Stromnachfrage kann auch direkt von den Versorgern gesteuert werden (Kasten 2.7). Bei preisbasierten Programmen, wie z. B. Time-of-Use-Programmen, sind die Preise zu Spitzenzeiten höher (Albadi and El-Saadany, 2008[38]).

Hamburg bietet Programme zum Lastmanagement im Einklang mit nationalen Initiativen an. Zu diesen Programmen gehören unterbrechbare Lastprogramme, Auktionen und Möglichkeiten für Erzeuger erneuerbarer Energien, sich an der Direktvermarktung zu beteiligen. Diese Programme kommen in der Regel Großkunden zugute. Lastmanagement-Aggregatoren könnten bei gemeinsamer Teilnahme auch kleinen und mittelgroßen Verbrauchern helfen. Mehrere Initiativen bieten Echtzeitdaten und eine automatische Kontrolle des Stromverbrauchs. Um mehr Lastmanagement zu fördern, sind klare Regelungen und Informationen für alle Teilnehmer entscheidend. Eines der Haupthindernisse für die Entwicklung von Lastmanagement ist das Fehlen von standardisierten Verfahren und Verträgen, die die Abrechnung zwischen Aggregatoren (Verbrauchern), Vermittlern und Lieferanten regeln (ENEFIRST, 2020[39]).

Um ihre Stromnachfrage flexibler gestalten zu können, müssen Unternehmen in digitale Tools wie Nachfrageüberwachungs- und Lastmanagementtechnologien investieren. Digitale Technologien wie intelligente Zähler, Energiemanagementsysteme und automatisierte Steuersysteme können zur genauen Überwachung, Steuerung und Prognose des Energieverbrauchs eingesetzt werden (IEA, 2022[37]).

Kasten 2.7 Programmtypen zum Lastmanagement

Anreizbasierte Programme

IBP-Programme belohnen Teilnehmer für ihre Anpassung an das Angebot fluktuierender erneuerbarer Energien (FEE) durch direkte Zahlungen.

1. **Direkte Laststeuerung:** Versorgungsunternehmen könnten die Geräte der Teilnehmer (z. B. Klimaanlage und Warmwasserbereiter) als Reaktion auf Schwankungen der Großhandelspreise für Strom, die die Bedingungen der Energieversorgung widerspiegeln, aus der Ferne verwalten und steuern. Im Gegenzug erhalten die Kunden einen finanziellen Anreiz.
2. **Unterbrechbare/Kürzungsprogramme:** Die Kunden erhalten Vorauszahlungen oder Preisnachlässe, wenn sie sich bereit erklären, ihre Nachfrage in Zeiten hoher Netzbelastung auf vordefinierte Werte zu reduzieren.
3. **Demand Bidding:** Kunden geben ein Gebot für eine bestimmte Lastreduzierung ab. Wird das Gebot angenommen, muss der Kunde seine Last um den im Gebot angegebenen Betrag reduzieren.
4. **Notfall-Lastmanagementprogramme:** Kunden erhalten Anreize für gemessene Nachfragereduzierungen unter Notfallbedingungen.
5. **Kapazitätsmarkt:** Die Kunden verpflichten sich, die Nachfrage im Fall von Nachfragespitzen langfristig zu reduzieren. Sie werden bestraft, wenn sie den Aufforderungen nicht nachkommen.
6. **Markt für Hilfsdienste:** Die Kunden geben Gebote für Rabatte/Zahlungen ab, wenn sie Lastreduzierungen auf dem Spotmarkt als Betriebsreserve anbieten. Wenn die Gebote angenommen werden, erhalten die Teilnehmer den Spotmarktpreis für die Bereitschaft und den Spotmarktenergiepreis, wenn ihre Lastreduzierungen erforderlich sind.

Preisbasierte Programme

Bei preisbasierten Programmen werden Preissignale oder Tarife verwendet, um die Energienachfrage zu ändern.

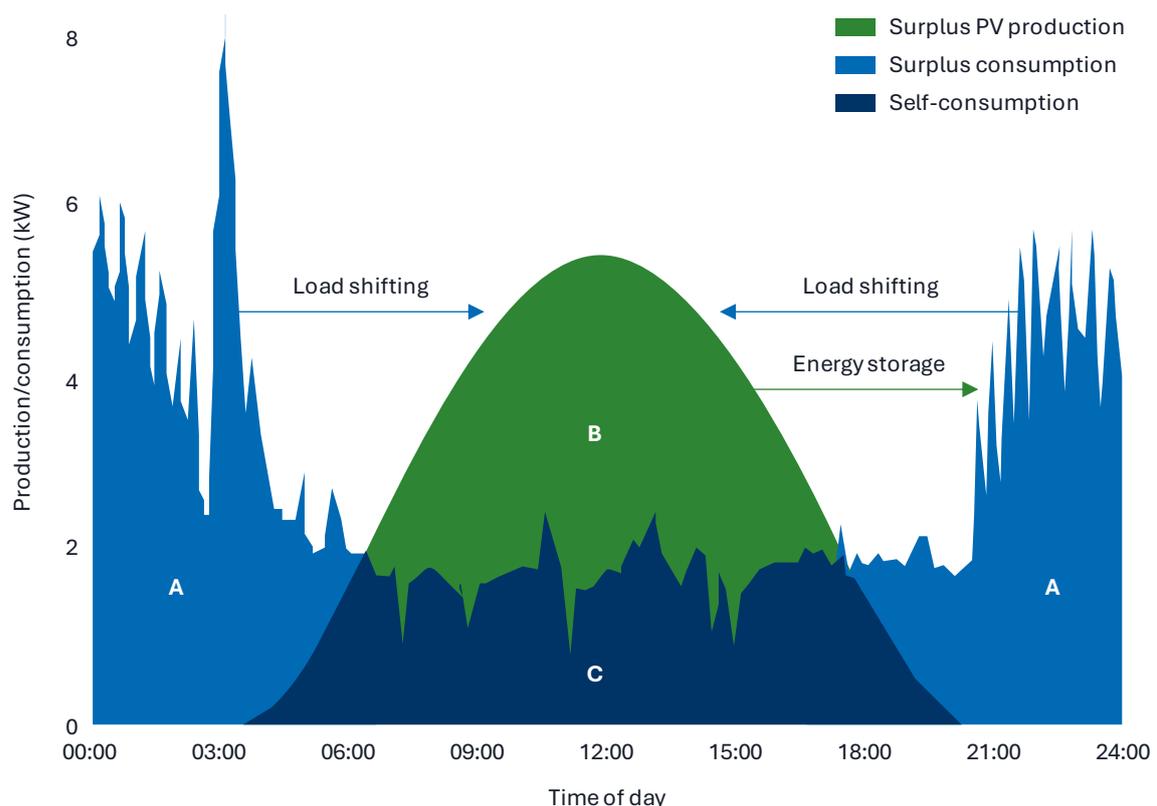
1. **Verbrauchszeitpunkt:** Der Strompreis pro Verbrauchseinheit unterscheidet sich je nach Tageszeit. Zu Spitzenzeiten sind die Preise höher, zu Schwachlastzeiten niedriger.
2. **Preisstellung für kritische Spitzenwerte / Preis für extreme Tage:** Im Fall von Unwägbarkeiten wird ein höherer Strompreis im Austausch für einen niedrigeren Preis an normalen Tagen gezahlt.
3. **Echtzeit-Preisstellung:** Kunden zahlen den Echtzeit-Großhandelsstrompreis.

Quelle: (Albadi and El-Saadany, 2008[38]).

PV-Solaranlagen auf dem Dach können die Energiekosten senken

PV-Solaranlagen auf dem Dach bieten eine besonders attraktive Perspektive für Unternehmen in Hamburg, ihren eigenen Strom zu erzeugen und zu verbrauchen, um von günstigem Strom zu profitieren, was letztlich zur Entwicklung eines dezentralen Systems auf der Grundlage verteilter Energieressourcen beiträgt (Hargroves et al., 2023[40]). Da es keine differenzierte Strompreisgestaltung im Zeitverlauf gibt, kann die Sektorkopplung Unternehmen die Möglichkeit bieten, verstärkt die Eigenproduktion/den Verbrauch von FEE zu nutzen, da selbst produzierter Strom in der Regel billiger ist als von Versorgungsunternehmen gekaufter Strom. Das Zeitprofil der Produktion von Solarmodulen, hauptsächlich während der Tageslichtstunden, stimmt gut mit den Stromverbrauchsmustern von Unternehmen überein. Wenn die Produktion nicht mit dem Strombedarf übereinstimmt, ist es möglich, die Eigenproduktion/den Eigenverbrauch mit Batterie- oder Wärmespeichern zu koppeln (Abbildung 2.14; (Renewable Energy Agency, 2021[41]). Selbst bei geringem Strombedarf ist die Eigenerzeugung/der Eigenverbrauch mit Sektorkopplung attraktiv. Im Jahr 2023 hat die deutsche Regierung die Einspeisetarife für dezentrale Solaranlagen erhöht (IEA, 2022[42]). Schließlich ist zu beachten, dass das Photovoltaikpotenzial in Hamburg aufgrund des hohen Anteils an weniger stabilen Logistikgebäuden möglicherweise nicht so hoch ist wie in anderen Städten.

Abbildung 2.14 Zeitliches Profil der Eigenproduktion/des Eigenverbrauchs mit Solarmodul (PV) und Speicher



Quelle: (Alrawi et al., 2022[43]).

In Hamburg gibt es mehrere Hindernisse, die die Installation von Solaranlagen auf Dächern erschweren. Eine der größten Herausforderungen ist der begrenzte Zugang zu Informationen über Technologie,

Vorschriften, Umsetzung und Kosteneinsparungspotenziale von Dachanlagen, selbst heute noch. Unternehmen, die die Installation von Solaranlagen auf Dächern in Erwägung ziehen, könnten beispielsweise zusammenarbeiten, um die Kosten für den Anschluss an das Stromnetz gemeinsam zu tragen. Manche Unternehmen in Hamburg arbeiten bereits daran, Unternehmen bei der Nutzung selbst erzeugter FEE zu unterstützen (Kasten 2.8). Um das Bewusstsein der Unternehmen zu schärfen und den Zugang zu Informationen zu verbessern, ist es wichtig, die Existenz von Institutionen, die die Installation von Solaranlagen unterstützen, aktiv zu fördern und zu kommunizieren. Dazu gehören die Handelskammern, staatlich initiierte Initiativen wie die Hamburger Energielotsen sowie private Unternehmen wie Immobilieneigentümerverbände und Koalitionen wie die Solaroffensive, die verschiedene Akteure zusammenbringen. Die HK könnte eine Schlüsselrolle dabei spielen, ihren Mitgliedern das Geschäftsszenario zu vermitteln. Unter anderem, indem sie auf Geschäftsmodelle hinweist, mit denen die Investitionskosten und -vorteile zwischen Gebäudeeigentümern und Pächtern aufgeteilt werden können.

Kasten 2.8 Sager & Deus und Opländer Haustechnik unterstützen Unternehmen bei der Integration von fluktuierenden erneuerbaren Energien (FEE) in ihren Energiemix

Die Hamburger Unternehmen **Sager & Deus und Opländer Haustechnik** haben es sich zur Aufgabe gemacht, öl- und gasbefeuerte Technologien zu ersetzen. Dazu gehören maximale Energieeffizienz, der Einsatz von erneuerbaren Energien und Umwelttechnologien sowie das Angebot von Sanitärtechnologien, die wirtschaftlich vertretbar und ökologisch nachhaltig sind.

Sie beschäftigen derzeit 183 Mitarbeiter und erwirtschaften einen jährlichen Gesamtumsatz von rund 28 Mio. Euro. Der Schwerpunkt der Unternehmen liegt auf der Transformation der Energiesysteme hin zu dezentralen erneuerbaren Systemen. Ziel ist es, erneuerbaren, emissionsfreien Strom und Wärme so nah wie möglich an den Verbrauchern zu erzeugen. Die Strom- und Wärmeverbraucher werden zu Erzeuger-Verbrauchern, zu „Prosumern“. Das Ziel ist es, mehr Teilnehmern zu erlauben, auf diese Weise geschaffene Wertschöpfung zu nutzen.

Der Schwerpunkt von *Sager & Deus* liegt auf erneuerbaren und bürgernahen Energieerzeugungsanlagen, die einzelne Häuser, Siedlungen und größere Gewerbeimmobilien versorgen, sowie auf dem Bau und Betrieb von dezentralen Gemeinschaftswärmepumpen, mit Wasserstoff betriebenen Brennstoffzellen und Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen.

Opländer arbeitet mit Heizungs-, Sanitär-, Lüftungs-, Klima-, Kälte- und Elektroinstallationen. Neben dem Bau dieser Anlagen ist die Wartung ein wichtiger Teil ihrer Arbeit. Sie setzen Technologien ein, die dem Übergang zur Klimaneutralität dienen, wie Kraft-Wärme-Kopplung, Solarthermie und Wärmepumpentechnologie. Das Unternehmen ist bestrebt, die Klimaneutralität voranzutreiben, indem es einen Bewusstseinswandel hin zu erneuerbaren Energien und weg von fossilen Brennstoffen herbeiführt, auch in Handwerksbetrieben. Es bemüht sich auch, Handwerksberufe, die für die Erreichung der Klimaneutralität wichtig sind, wie z. B. die Installation von Anlagen für erneuerbare Energien, insbesondere für junge Menschen attraktiv zu machen. Es zielt darauf ab, die Beteiligung an der ökologischen Umstellung zu erweitern und dazu beizutragen, dass die Umstellung mehr von der Gesellschaft als Ganzes und nicht nur von zentralen Strukturen geprägt wird.

Stromspeicher können die Flexibilität der Stromnachfrage erhöhen

Stromspeicher sind eines der wichtigsten Elemente, um die durch FEE und Sektorkopplung benötigte Flexibilität zu erreichen. Die Speicherung von Strom ist kostspieliger und technisch anspruchsvoller als die Speicherung fossiler Brennstoffe (Erbach, 2019[31]). Die wichtigsten Arten der Energiespeicherung für energieverbrauchende Unternehmen sind elektrochemische Batterien, Wasserstoff-Energiespeicher und thermische Energiespeicher (Ould Amrouche et al., 2016[44]) (Münster et al., 2020[45]).

Elektrochemische Batterien sind sehr heterogen und können in verschiedensten Größenordnungen eingesetzt werden. Batterien eignen sich besonders gut für Unternehmen in wenig energieintensiven Branchen, die ihren eigenen Strom aus Solaranlagen auf dem Dach erzeugen oder an Lastmanagementprogrammen teilnehmen. Die am weitesten verbreiteten Typen sind Lithium-Ionen-Batterien (Li-Ion) mit einem Marktanteil von 97 % im Jahr 2017 in Deutschland. Lithium-Ionen-Batterien sind auch in Elektrofahrzeugen weit verbreitet.

Die Preise für Batterien sind zwischen 1991 und 2018 um 98 % gefallen. Selbst die Preise für kleine Batteriesysteme für Privathaushalte sind in Deutschland von 2014 bis 2020 um 70 % gefallen (International Renewable Energy Agency, 2023[46]). Es ist zu erwarten, dass die Preise insbesondere für Li-Ionen-Batterien aus verschiedenen Gründen weiter sinken werden, z. B. durch höhere Produktionskapazitäten, bessere Materialien und wettbewerbsfähigere Lieferketten (Renewable Energy Agency, 2017[47]). Der ökologische Fußabdruck der Batterieproduktion ist jedoch beträchtlich, was die Preise in die Höhe treiben kann, wenn diese eingepreist werden. Dadurch werden Lastmanagement und Sektorkopplung mit Anlagen, die auch anderen Zwecken dienen (Wärmespeicher, Fahrzeugbatterien), interessanter.

HES wandelt Strom in Wasserstoff um. Diese Speichertechnologie ist für Unternehmen interessant, die langfristige Energiespeicherung benötigen (He et al., 2021[48]). Bislang sind Wasserstoffprojekte noch nicht rentabel. Die Energiespeicherung auf der Basis von Wasserstoff ist jedoch auch dank der gesunkenen Kosten für Elektrolyseure attraktiver geworden (International Renewable Energy Agency, 2023[46]).

Da Energie in kalten oder heißen Flüssigkeiten gespeichert wird, kann die thermische Speicherung mit der Power-to-Heat-Technologie zum Heizen oder Kühlen von Gebäuden genutzt werden (Van Nuffel et al., 2018[33]). In diesem Fall werden Gebäude oder Lagerhallen dank eines intelligenten Thermostats beheizt, wenn der Strombedarf niedrig oder das Angebot hoch ist. Wenn die Nachfrage Spitzenwerte erreicht, wird die Heizung des Gebäudes abgeschaltet. Diese Art der Speicherung eignet sich besonders für Unternehmen mit hohem Heiz-/Kühlbedarf (z. B. Supermärkte) und Industriekonzerne. Supermärkte, die Strom benötigen, um Lebensmittel mit Hilfe von Kühlkompressoren zu kühlen, sind ein gutes Beispiel für dieses Phänomen. Wenn Strom im Überfluss vorhanden ist, können die Kühlkompressoren mit voller Leistung laufen (Van Nuffel et al., 2018[33]).

Zusammenarbeit ist der Schlüssel zur Entwicklung der Sektorkopplung in größerem Maßstab

Unternehmen, die sich im selben oder in nahegelegenen Gebäuden befinden, können bei der Entwicklung der Infrastruktur zusammenarbeiten und von Skaleneffekten profitieren. Größenvorteile können für die Produktion und Speicherung von fluktuierenden erneuerbaren Energien (FEE) gelten: größere gemeinsame Anlagen können die Kosten im Vergleich zur individuellen Nutzung kleinerer Anlagen senken (Kost et al., 2021[28]). Firmen können Partnerschaften eingehen, um die Vorlaufkosten für Solarmodule mit Speicher, intelligente Ladesysteme für Elektrofahrzeuge oder sogar Elektrolyseur-Infrastruktur zu teilen. Siemens arbeitet zum Beispiel mit der Hamburger Hafenbehörde zusammen, um

überschüssigen Strom aus Windturbinen zur Herstellung von Wasserstoff für schwere Fahrzeuge und Schiffe zu nutzen.

Unternehmen können sich an gemeinsamen Anstrengungen beteiligen, indem sie Teilnehmer in Energiegemeinschaften werden. Durch den Beitritt zu diesen Gemeinschaften können Unternehmen auch von niedrigeren Stromkosten profitieren und die potenziellen Größenvorteile maximieren. Diese können in der gemeinsamen Eigenproduktion zum Tragen kommen, einschließlich des größeren potenziellen Nutzens aus der Sektorkopplung, die sich aus den unterschiedlichen Stromverbrauchsprofilen (z. B. Gewerbe und Haushalte) der einzelnen Mitglieder der Gemeinschaft ergibt. Diese Gemeinschaften entstehen entweder durch die gemeinsame Nutzung von Wind- und Solarenergie oder durch die Einrichtung vollständig autarker Mikronetze. Ein bemerkenswertes Beispiel ist das gemeinschaftsorientierte Virtuelle Kraftwerk in Gent, das über 100 PV-Anlagen mit Energiemanagementsystemen und Speichermöglichkeiten effektiv integriert. Dennoch berichten Unternehmen in Hamburg, dass Energiegemeinschaften schwer zu realisieren sind. Digitale Technologien wie Blockchain haben das Potenzial, die Bildung von Energiegemeinschaften zu erleichtern, indem sie sichere Peer-to-Peer-(P2P-) und Peer-to-Utility-Transaktionen garantieren (OECD, 2021[49]).

Schließlich erfordert die Kopplung von Sektoren unterschiedliche Arten von Wissen. Unternehmen können ihr Fachwissen durch Partnerschaften teilen. So ist Siemens beispielsweise eine Partnerschaft mit dem Chemieunternehmen Evonik eingegangen, um eine Technologie zur Umwandlung von Strom in Wasserstoff zu entwickeln. Das Energieunternehmen E.ON und der Automobilhersteller Audi haben gemeinsam ein Projekt entwickelt, das Photovoltaikanlagen für Wohnhäuser, Energiespeichersysteme und Elektrofahrzeuge kombiniert.

Wichtige Maßnahmen

Sofortmaßnahmen

- Die HK könnte Empfehlungen zur Rentabilität der Stromerzeugung vor Ort in Unternehmen geben, insbesondere bei Photovoltaikanlagen auf Dächern, sowie zu Geschäftsmodellen, mit denen sich die Produktionspotenziale nutzen lassen.
- Unternehmen sollten alle Potenziale für die eigene Stromerzeugung bewerten, insbesondere für PV-Aufdachanlagen.
- Unternehmen sollten das Potenzial für eine Flexibilisierung ihres Stromverbrauchs bewerten und dabei Investitionen in Gerätschaften berücksichtigen, die sie für Energieeffizienz und Elektrifizierung benötigen, einschließlich Wärmepumpen und Elektrofahrzeuge.
- Unternehmen können den Spielraum für die Zusammenarbeit mit anderen Wirtschaftsakteuren in gemeinsamen Gebäuden oder Nachbarschaften bei der Verbesserung der Flexibilität des Energieverbrauchs bewerten.
- Die HK kann sich für marktorientierte Lösungen zur Regulierung der Strommärkte mit zunehmendem Anteil erneuerbarer Energien einsetzen, insbesondere für eine räumlich und zeitlich differenzierte Preisgestaltung auf den Groß- und Einzelhandelsmärkten.
- Die HK könnte eine Bestandsaufnahme der Lastmanagementprogramme durchführen und sich für die Standardisierung der Verfahren und die Bereitstellung klarer Informationen über die Regelungen und die verschiedenen Verträge, die es möglicherweise gibt, einsetzen.

Bis 2030

- Die HK sollte die Solarstromproduktion auf Dächern in Hamburg überwachen und mögliche Hindernisse für den Ausbau identifizieren.
- Die HK könnte eine Überprüfung der Lastmanagementprogramme durchführen und sicherstellen, dass sie so weit wie möglich umgesetzt werden, sowohl auf der Ebene einzelner Unternehmen als auch in Zusammenarbeit mit den Versorgungsunternehmen, der regionalen und der nationalen Regierung.
- Die HK kann Leitlinien für all diese Schritte bereitstellen und Arbeitsgruppen bilden, die den Wissensaustausch und die Koordinierung erleichtern.

Bis 2040

- Da der Anteil der erneuerbaren Energien an der deutschen Stromerzeugung auf 80 % steigen soll, sollten alle Unternehmen ihre eigenen Produktions- und Verbrauchspotenziale ausschöpfen.

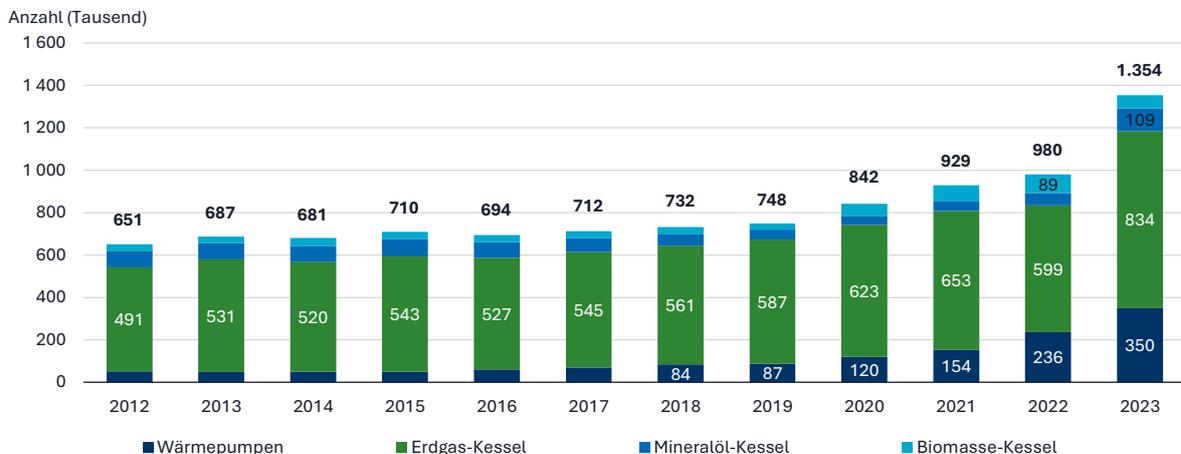
Dekarbonisierung von Gebäuden

Dem Gebäudesektor kommt eine Schlüsselrolle bei der Erreichung der energie- und klimapolitischen Ziele zu, denn im Jahr 2021 entfallen auf ihn rund 49 % des Endenergieverbrauchs in Hamburg (26 % für private Haushalte und 23 % für nichtindustrielle gewerbliche Gebäude) und rund 24 % der Treibhausgasemissionen gemäß Scope 1 (zu gleichen Teilen für private Haushalte und gewerbliche Gebäude). Private Haushalte und nichtindustrielle gewerbliche Gebäude sind für 45 % der Scope-2-Emissionen in Hamburg im Jahr 2021 verantwortlich (jeweils zu 23 % bzw. 22 %), wobei die meisten dieser Emissionen auf die Heizung und die Nutzung von Geräten in Gebäuden zurückzuführen sind (Hamburg Statistics Office, 2023[50]). Zwischen den ehrgeizigen Zielen und den tatsächlichen Emissionsminderungen im Gebäudesektor klafft eine erhebliche Lücke: Seit mehreren Jahren überschreitet der Sektor die Emissionsgrenzen des deutschen Klimaschutzgesetzes.

Das Erreichen der Klimaneutralität im Jahr 2040 bedeutet, dass die Nutzung von Öl und Gas schrittweise eingestellt werden muss. Dies gilt sowohl für Gebäude, die von Unternehmen für gewerbliche Zwecke genutzt werden, als auch für Unternehmen, die Wohnraum an private Haushalte vermieten. Im Jahr 2019 machten Öl und Gas mehr als 40 % des Gesamtenergieverbrauchs in Hamburgs gewerblichen Gebäuden aus (jeweils 12 % bzw. 31 %) (Hamburg Statistics Office, 2022[51]). Ab 2026 kann jede neu installierte Heizungsanlage gesetzlich dazu verpflichtet werden, mit mindestens 65 % erneuerbarer Energie betrieben zu werden (Alkousaa and Kraemer, 2023[52]). Diese 65%-Regelung schließt die Installation von Gasheizkesseln ab 2026 in bestehenden Gebäuden und in Neubauten nicht aus. Da Heizkessel jedoch in der Regel 20–30 Jahre in Betrieb sind (Müller and Langenheld, 2022[53]), sind neue Heizkessel für fossile Brennstoffe nicht mit dem Hamburger Klimaneutralitätsziel für 2040 vereinbar und schaffen daher Risiken für verlorene Investitionen. Ein verzögertes Handeln wird auch zu einem Nachfragestau nach der Installation benötigter Geräte zu einem späteren Zeitpunkt und zu höheren Umrüstungskosten führen. Obgleich der Absatz von Wärmepumpen- und Biomasseheizungen im Jahr 2022 gegenüber 2021 um 53 % bzw. 17 % gestiegen ist und der Absatz von Gaskesseln um 8 % zurückgegangen ist, werden zwei Drittel aller im Jahr 2022 in Deutschland neu installierten Heizungsanlagen immer noch mit Gas (61 %) und Öl (5,8 %) betrieben (Kyllmann, 2023[54]). Den Prognosen zufolge wird der Absatz von Wärmepumpen im Jahr 2023 um 48 % gegenüber 2022 steigen, aber auch der Absatz von Gas- und Ölkesseln wird um 39 % bzw. 91 % zunehmen (Abbildung 2.15; (Agora Energiewende, 2023[55]).

Abbildung 2.15 Die Installation von Öl- und Gaskesseln gefährdet die Klimaneutralitätsziele

Absatz von dezentralen Heizsystemen für einzelne Wohnungen in Deutschland seit 2012



BDH (2023) | 2023: Prognose basierend auf BDH (2022) und BDH (2023); Annahme: Verstärkung des Trends Q1-Q3 2023. Gas und Öl: Brennwert- und Niedertemperatur-Kessel, Biomasse: Scheitholz, Pellet, Kombi-Kessel, Hackschnitzel, Wärmepumpen: Luft-Wasser, Sole-Wasser, Wasser-Wasser und Sonstige.

Anmerkung: Basierend auf (Bundesverband der Deutschen Heizungsindustrie 2023, [57]). 2023: Projektion basierend auf der Entwicklung in Q1-Q3 des Jahres 2023. 2024: Klimaneutralitätsgerechter Ausbaupfad von Wärmepumpen.

Quelle: (Agora Energiewende, 2023[55]).

Um Gebäude zu dekarbonisieren, müssen Unternehmen zwei Schwerpunkte setzen. Erstens, den Ersatz öl- und gasbetriebener Heizungsanlagen durch Wärmepumpen. Zweitens die Renovierung der Gebäudehüllen, um den Energieverbrauch zu senken und die Elektrifizierung und Umstellung auf erneuerbare Energien zu ermöglichen. Unternehmen sollten mit einer Verschärfung der Energieeffizienzvorschriften für bestehende Gebäude rechnen, um den Energieverbrauch zu senken. Bei Öl- und Gaskesseln würde ein Abwarten auf die Umsetzung strengerer Vorschriften zu einem stärkeren „Maßnahmenstau“ und höheren Renovierungskosten führen. Außerdem sind diese Maßnahmen regional beschäftigungsintensiv, sodass ihre Umsetzung schnell beginnen muss, um Engpässe bei Baukapazitäten und Fachkräften zu vermeiden.

Unternehmen, Einwohner und Arbeitnehmer werden von der Renovierung und Umrüstung von Gebäuden für eine höhere Energieeffizienz profitieren. Die Unternehmen profitieren durch niedrigere Heizkosten und sind weniger anfällig für Energiepreisschwankungen oder Rationierungen. Die Größe der Vorteile ist den Unternehmen, insbesondere den kleineren, nicht immer bewusst. Bewohner und Arbeitnehmer profitieren durch angenehmere Innentemperaturen und eine bessere Luftqualität, was wiederum der Gesundheit zugutekommt (Climate Action Tracker, 2016[56]). Auch die Gebäudenutzer müssten sich noch energiesparender verhalten, um den Energieverbrauch weiter zu senken. Da steigende Anteile erneuerbarer Energien eine stärkere räumliche Differenzierung bei der Strompreisgestaltung erfordern, könnte eine niedrigere regionale Stromnachfrage eines Tages auch niedrigere regionale Strompreise bedeuten.

So können Unternehmen Gebäude dekarbonisieren

Umstellung der Wärmeversorgung von fossilen Brennstoffen auf Wärmepumpen

Mit Blick auf Hamburgs Klimaneutralitätsziel 2040 sollten Unternehmen mit fossilen Brennstoffen und Gas betriebene Heizungsanlagen durch Wärmepumpen ersetzen. Wärmepumpen erlauben es, sowohl das Ziel für 2040 als auch den Bedarf an erneuerbaren Energien für 2026 zu erfüllen, und sollten die Hauptquelle für die Wärmeversorgung werden, um die Klimaneutralität zu erreichen, wenn keine Fernwärme verfügbar ist. Die einfache Ergänzung eines herkömmlichen Heizkessels durch eine solarthermische Heizungsanlage reicht beispielsweise nicht aus, um die Vorgabe von 65 % erneuerbarer Energien zu erfüllen (Müller and Langenheld, 2022[53]).

Wärmepumpen sind eine geeignete Option für eine Vielzahl von Gebäudetypen. Der technologische Fortschritt der letzten Jahre hat die Anwendungsmöglichkeiten erheblich erweitert: So arbeiten Wärmepumpen jetzt auch in Gebäuden effizient, die nur teilweise renoviert wurden (Müller and Langenheld, 2022[53]). Kleine Renovierungsschritte wie der Austausch von Fenstern oder alten Heizkörpern sind oft ausreichend (Miara, 2021[57]). Hybride Wärmepumpen, die mit Heizsystemen auf der Basis fossiler Brennstoffe zusammenarbeiten, haben in den meisten Fällen keinen wirtschaftlichen oder ökologischen Vorteil gegenüber normalen Wärmepumpen (Müller and Langenheld, 2022[53]).

Gaskessel können mit oder neben einer nachhaltigen Biomassennutzung oder eventuell mit Wasserstoff betrieben werden. Wärmepumpen bieten jedoch erhebliche Vorteile gegenüber nachhaltigen Heizsystemen auf Biomasse- und Wasserstoffbasis, die Risiken in Bezug auf Verfügbarkeit, Kosten und Widerstandsfähigkeit bergen. Angesichts der Klimaneutralitätsziele in den OECD-Ländern und darüber hinaus wird die Nachfrage nach nachhaltiger Biomasse und Wasserstoff stark zunehmen und die Preise in die Höhe treiben, da mehrere schwer zu dekarbonisierende Sektoren auf diese Energiequellen angewiesen sein werden, so der Luftverkehr, die Schifffahrt, der Straßenverkehr und die Industrie (Material Economics, 2019[58]). Das Wachstum der Biomasse konkurriert auch mit wichtigen Flächennutzungen, insbesondere für die Nahrungsmittelproduktion und den Schutz der Artenvielfalt, und ist anfällig für Schocks, einschließlich extremer Klimaereignisse wie Brände oder Dürren. In ähnlicher Weise kann sich die Produktion von „grünem Wasserstoff“ auf Regionen auf der ganzen Welt konzentrieren, die das größte Potenzial für erneuerbare Energien haben. Sie ist international handelbar und daher anfällig für Schocks, die international übertragen werden können. Außerdem kann die Produktion von Wasserstoff aus erneuerbaren Energien einen Effizienzverlust von etwa einem Drittel bedeuten. Daher sollten Biomasse und Wasserstoff nicht in großem Maßstab zum Heizen verwendet werden. Um im Jahr 2040 Klimaneutralität zu erreichen, muss die Energie in Gebäuden zu 100 % aus erneuerbaren Energien stammen, was die wirtschaftlichen Risiken dieser Energieträger erhöht.

Erdwärmepumpen sind eine praktikable Option, aber sie eignen sich nicht für alle Gebäude und haben hohe Einrichtungskosten, da sie Erdwärmesonden über große Flächen oder Bohrungen erfordern (Kavanaugh, Gilbreath and Kilpatrick, 1995[59]).

Es gibt verschiedene potenzielle Hindernisse für die Installation von Wärmepumpen. Erstens der Mangel an Facharbeitern für die Installation. Zweitens lokale Vorschriften zum *Denkmalschutz* oder andere Vorschriften, die es nicht erlauben, das Stadtbild zu verändern (*Städtebauliche Erhaltungsverordnungen*) – da Wärmepumpen an der Außenseite von Gebäuden installiert werden –, sowie *Soziale Erhaltungsverordnungen*, die es nicht erlauben, die Mieten zu erhöhen, um nach dem Wirtschaftsprinzip die Investitionskosten zu decken. Lokale Vorschriften zum *Denkmalschutz* sind ebenfalls ein Hindernis für die Installation von Solaranlagen auf Dächern (siehe oben). Es gibt keine Daten über den Anteil der gewerblichen Gebäude, die unter *Denkmalschutz*, *Städtebauliche Erhaltungsverordnungen* und *Soziale Erhaltungsverordnungen* fallen, aber *Denkmalschutz* und *Städtebauliche Erhaltungsverordnungen* allein

könnten etwa ein Drittel der gewerblichen Gebäude betreffen. Außerdem sind die *Städtebaulichen Erhaltungsverordnungen* nicht immer transparent (OECD, 2023[60]). Drittens übersteigt die Nachfrage nach Wärmepumpen derzeit das Angebot. Viertens sind die Finanzierungsverfahren langwierig, und die Gebäudeeigentümer nutzen die staatlichen Fördermittel möglicherweise nicht in vollem Umfang ((Hamburger Behörde für Stadtentwicklung und Wohnen, 2022[61]); (Müller and Langenheld, 2022[53])). Und fünftens zögern die Gebäudeeigentümer, in Wärmepumpen zu investieren, da die derzeitige Stromversorgung Hamburgs nicht ausreichen würde, wenn nahezu alle Gebäude auf Wärmepumpen umgestellt würden.

Umstellung der Wärmeversorgung von fossilen Brennstoffen auf Fernwärme

Neben den Wärmepumpen muss die Fernwärme die andere Hauptquelle der Wärmeversorgung werden. Dazu gehört der Ausbau von Anschlüssen an Fernwärmenetze, die Erweiterung bestehender Netze und der Bau neuer Netze (Hamburger Behörde für Stadtentwicklung und Wohnen, 2022[61]). Durch den Ausbau und die Errichtung von Fernwärmenetzen können Stadtteile leichter und kostengünstiger dekarbonisiert werden als in individuellen Schritten pro Gebäude (Hamburger Behörde für Stadtentwicklung und Wohnen, 2022[62]). Fernwärme kann an verschiedene Arten von Energiequellen angeschlossen werden, darunter große Wärmepumpen, Solarthermie, Geothermie oder Abwärme aus Industrieanlagen und Rechenzentren (Wehrmann, 2023[63]).

Allerdings können nicht alle Gebäude an eine Fernwärmequelle angeschlossen werden, oder es ist zu kostspielig, dies zu tun. Zentralisierte Fernwärmelösungen erfordern eine umfangreichere Leitungsinfrastruktur für die weiter entfernten Standorte und sind daher teuer und erfordern mehr Zeit für den Anschluss. Darüber hinaus hängt der Beitrag, den Fernwärme zur Klimaneutralität leisten kann, davon ab, ob die Fernwärmequellen durchgängig emissionsfrei sind und bei der Schließung von Industriebetrieben aufrechterhalten werden können. Gegenwärtig sind die Energiequellen der Fernwärme nicht klimaneutral. Fernwärmesysteme, die derzeit auf fossilen Brennstoffen basieren, sollten auf grüne Energiequellen umgestellt werden (Müller and Langenheld, 2022[53]). In dem Maße, in dem Fernwärme auf industrielle Energiequellen angewiesen ist, sind Ausweichmöglichkeiten notwendig, falls die Industrie ihre Aktivitäten einstellt. Klimaneutrale industrielle Prozesse können auch die verfügbare industrielle Abwärme für die Nutzung in der Fernwärme verringern (Manz, Fleiter and Eichhammer, 2023[64]). Weitere potenzielle Hindernisse sind der Mangel an Fachkräften und Baukapazitäten, Probleme in der Lieferkette und lange Genehmigungsverfahren (Hamburger Behörde für Stadtentwicklung und Wohnen, 2022[61]).

Renovierung von Gebäudehüllen

Die Umstellung von öl- und gasbefeuerten Heizsystemen auf Wärmepumpen wird den Strombedarf erhöhen. Unternehmen müssen die Gebäudehüllen renovieren, um den Energieverbrauch zu senken und die Effizienz von Wärmepumpen zu erhöhen. Die Renovierung von Gebäudehüllen umfasst vor allem eine bessere Isolierung der Außenwände, eine bessere Isolierung von Dächern und Böden sowie den Austausch alter Fenster durch energieeffizientere (Hamburger Behörde für Stadtentwicklung und Wohnen, 2022[61]). Materialien von bestehenden Gebäuden können für die Renovierung recycelt und wiederverwendet werden.

Gebäude, die zu viel Energie verbrauchen, um eine Wärmepumpe installieren zu können, sollten zuerst renoviert werden. Gebäude, die an die Fernwärme angeschlossen sind oder werden, müssen nicht sofort renoviert werden, da sie in Bezug auf den Energieverbrauch nahezu kohlenstoffneutral sind. Einfachere Maßnahmen, wie der Austausch von Fenstern, könnten zuerst durchgeführt werden. Unternehmen können Ereignisse wie einen Wechsel des Pächters oder aus anderen Gründen notwendige Renovierungen nutzen, um die Gebäudehülle zu sanieren.

Die HK strebt Klimaneutralität bis 2040 an – fünf Jahre früher als die Stadt Hamburg und Deutschland. Um die Klimaneutralität in Hamburgs Geschäftsgebäuden zu erreichen, müssen nicht alle Gebäude bis 2040 renoviert werden, vorausgesetzt, sie werden kohlenstoffneutral umgerüstet. Dennoch erfordern die Klimaneutralitätsziele Hamburgs und Deutschlands für 2045 große Anstrengungen zur Reduzierung des Energiebedarfs. Wenn man davon ausgeht, dass bis 2045 50 % der Gewerbegebäude an die Fernwärme angeschlossen sein werden (Bürgerschaft der Freien und Hansestadt Hamburg, 2023[65]), sollten bis 2045 jedes Jahr mindestens 2,5 % der Gewerbegebäude saniert werden. Derzeit liegt die Sanierungsrate in Deutschland schätzungsweise bei 0,7–0,9 % der gewerblichen Gebäude pro Jahr (OECD, 2023[60]). Die Hamburger Behörde für Stadtentwicklung und Wohnen (BSW) geht von einer Sanierungsrate von 1,6 % im Jahr 2030, 1,7 % im Jahr 2035 und 1,8 % im Jahr 2045 für gewerbliche Gebäude aus – unter Berücksichtigung des aktuellen Fachkräftemangels (Hamburger Behörde für Stadtentwicklung und Wohnen, 2022[61]), (Hamburger Behörde für Stadtentwicklung und Wohnen, 2022[66]).

Zu den potenziellen Hindernissen für die Renovierung von Gebäudehüllen gehören unzureichende Baukapazitäten und der Mangel an Fachkräften im Bau- und Planungsbereich sowie ein unzureichendes Angebot und Kostensteigerungen bei Baumaterialien. Die Behebung des Fachkräftemangels ist eine der wichtigsten Prioritäten, um die Renovierungsrate zu erhöhen. Darüber hinaus nutzen Gebäudeeigentümer die staatlichen Subventionen möglicherweise nicht in vollem Umfang und die Finanzierungsverfahren können langwierig sein (Hamburger Behörde für Stadtentwicklung und Wohnen, 2022[61]). Lokale Banken erwähnen auch, dass die Beantragung von Subventionen der regionalen Entwicklungsbank zur Finanzierung von Investitionen in die Energieeffizienz zu komplex ist, da sie in viele verschiedene kleine Programme aufgeteilt sind (OECD, 2023[60]). Förderprogramme könnten gestrafft und die Informationen darüber für Unternehmen, insbesondere KMU, leichter zugänglich und verständlich gemacht werden.

Optimierung des Einsatzes von Technologien in Gebäuden

Neben der Renovierung der Gebäudehüllen kann auch der Betrieb der Technik in Gebäuden optimiert werden, um den Energieverbrauch in neuen und bestehenden Gebäuden weiter zu senken. Dazu gehört zum Beispiel die Installation leicht verständlicher Energieeffizienzanzeigen an Heizungsanlagen, digitale Steuersysteme und die regelmäßige Inspektion von Heizungsanlagen. Die Hamburger Behörde für Stadtentwicklung und Wohnen (BSW) geht davon aus, dass durch solche Maßnahmen durchschnittlich 10 % des Endenergiebedarfs eingespart werden könnten und dass sich die Investition nach zehn Jahren amortisiert (Hamburger Behörde für Stadtentwicklung und Wohnen, 2022[61]). Das mangelnde Bewusstsein für das Potenzial dieser Technologien kann die Umsetzung behindern.

Schnelle und kostengünstige Optionen, die sofort genutzt werden können

Schließlich sollten gewerbliche Nutzer von Gebäuden die gleichen energiesparenden Verhaltensweisen wie in Wohngebäuden anwenden, z. B. die Raumtemperatur senken, richtig lüften usw. Bei der Beleuchtung bietet die Umstellung auf LED das größte Einsparpotenzial (Hamburger Behörde für Stadtentwicklung und Wohnen, 2022[61]). Diese verschiedenen Maßnahmen könnten etwa 5 % des Energiebedarfs einsparen (Hamburger Behörde für Stadtentwicklung und Wohnen, 2022[61]). Die Haupthindernisse sind die mangelnde Akzeptanz durch die Nutzer und fehlende Schulungsmöglichkeiten für Gebäudeverwalter.

Governance der Dekarbonisierung von Gebäuden: Beispiel Niederlande

Die Herausforderungen und Dekarbonisierungsmaßnahmen unterscheiden sich von Gebäude zu Gebäude und von Stadtteil zu Stadtteil. Wie bereits erwähnt, kann zum Beispiel nicht in allen Gebäuden eine Wärmepumpe installiert werden oder es können nicht alle Gebäude an die Fernwärme angeschlossen werden. Um die energieeffiziente Renovierung und Umrüstung gezielt anzugehen, haben die Niederlande einen Nachbarschaftsansatz gewählt. Das Programm Natural Gas-Free Neighbourhood (PAW), das von der nationalen Regierung, dem Verband der niederländischen Gemeinden und anderen Einrichtungen gemeinsam ins Leben gerufen wurde, stellte 66 ausgewählten Stadtvierteln in den Niederlanden jeweils bis zu 5 Mio. Euro zur Verfügung, um sie bei der Erprobung und Ausweitung von erdgasfreien Maßnahmen zu unterstützen (OECD, 2023[67]).

Die Kommunikation auf Nachbarschaftsebene hat sich beispielsweise in den Niederlanden als wirksam erwiesen. Viele Stadtteile haben die Erfolgsgeschichten ihrer Bewohner in Bezug auf Wärmepumpen oder Wärmedämmung bekannt gemacht und die Bewohner ermutigt, Gruppen von „Nachbarschaftsbotschaftern“ zu bilden, um gute Praktiken zu verbreiten. Die Gemeinde Leusden hat einen Nachbarschaftsberater eingestellt, der die Bürgerinitiativen beaufsichtigt und als Vermittler zwischen ihnen und der Gemeinde arbeitet. Andere Gemeinden haben den Einwohnern glaubwürdige Daten zur Verfügung gestellt. Rotterdam zum Beispiel hat eine Karte entwickelt, die die günstigsten Alternativen zu Erdgas aufzeigt, je nachdem, wo sich die Gebäude befinden (OECD, 2023[67]).

Die HK könnte helfen, solche Initiativen zu fördern.

Fachkräftemangel und Kapazitätsengpässe

Der Mangel an qualifizierten Arbeitskräften im Bausektor und in den Bereichen Renovierung und Heizung stellt eine ernsthafte Herausforderung für die Dekarbonisierung von Gebäuden dar. Die Attraktivität technischer Schulungen, sowohl beruflicher als auch akademischer Art, sollte daher erhöht werden, zum Beispiel durch neue Einstiegsprogramme und Qualifikationen in den Bereichen Wärmepumpen, erneuerbare Energien und energetische Sanierung.

Die Qualifikationen für Bauberufe sind derzeit starr und breit gefächert. So müssen beispielsweise Photovoltaik-Installateure für viele Aufgaben (wie komplexe Berechnungen) qualifiziert sein, die über die für die Photovoltaik-Installation erforderlichen hinausgehen. Dies könnte die notwendige Ausweitung der Qualifikationen verlangsamen und die Kosten für Investitionen in die Energieeffizienz in die Höhe treiben. Es könnte zum Beispiel dazu führen, dass sie ihre Ausbildung abrechnen, oder sie davon abhalten, sich zu bewerben (OECD, 2023[60]). Die Qualifikationen könnten flexibler gestaltet werden, indem man den Arbeitnehmern beispielsweise erlaubt, zwischen kürzeren Schulungen für bestimmte Aufgaben und längeren Schulungen für Bauarbeiten im Allgemeinen zu wählen. Arbeitnehmer, die sich für kürzere Schulungen entscheiden, sollten die Möglichkeit haben, sich später in ihrer Karriere weiterzubilden. Außerdem sollten die Hindernisse für die Gründung eines Bauunternehmens beseitigt (OECD, 2023[68]) und die damit verbundenen bürokratischen Verfahren digitalisiert und vereinfacht werden.

Im Bereich der Schulungen ist es zu begrüßen, dass das Handwerk die Entwicklung des neuen Ausbildungsabschlusses „Geprüfter Fachmann für Wärmepumpen“ plant. Der neue Ausbildungsberuf „Elektroniker/in für Gebäudesystemtechnik“ wurde bereits eingeführt. Mit dem „Entwicklungsprogramm Wärmepumpe“ will die Regierung ab 2023 die Teilnahme von ausgebildeten Fachkräften des Handwerks sowie von Planern und Energieberatern an Schulungen speziell zum Thema Wärmepumpen fördern.

In der Praxis arbeitet die Branche daran, Synergien zu nutzen. So haben die Spitzenverbände des Handwerks, der Sanitär-, Heizungs- und Klimatechnik und der Elektrotechnik eine Vereinbarung getroffen, um die Installation von Wärmepumpen handwerksübergreifend besser zu gestalten. Damit sollen die Installationszeiten verkürzt und die knappen Fachkräftekapazitäten effizient genutzt werden (Bundesverband der Deutschen Heizungsindustrie, 2023[69]).

Um dem Fachkräftemangel entgegenzuwirken, ist es außerdem von entscheidender Bedeutung, die Arbeitsmarktintegration von Frauen und die Höherqualifizierung von gering qualifizierten Arbeitskräften zu unterstützen, die Zuwanderung von Fachkräften zu erleichtern und die Möglichkeiten der Erwachsenenbildung zu erweitern (Tabelle 2.5; Kasten 2.9; (OECD, 2023[68]). So entwickelt die HK derzeit Kooperationsvereinbarungen mit Handelskammern in anderen Ländern, wie z. B. Usbekistan, in denen Bauarbeiter ihre Schulung in ihrem Heimatland zusammen mit deutschen Sprachkursen beginnen und dann die Schulung abschließen und in Deutschland arbeiten. Eine bessere und frühzeitige Information der Studenten darüber, dass „grüne“ Bauberufe sehr gefragt sind, ist ebenfalls von entscheidender Bedeutung (OECD, 2023[68]).

Tabelle 2.5 Frühere OECD-Empfehlungen und ergriffene Maßnahmen zur Schulung, Bildung und Arbeitsmarktpolitik in Deutschland

Empfehlungen	Ergriffene Maßnahmen
Verstärkte Unterstützung für ungelernte Erwachsene beim Erwerb beruflicher Qualifikationen	Die Reform der Grundsicherung für Arbeitsuchende 2023 (Einführung des neuen Bürgergeldes) ist ein wichtiger Schritt nach vorn. Sie räumt der Schulung Vorrang vor der Arbeitsaufnahme ein und verbessert die finanzielle Unterstützung für längerfristige Schulungen und Bildungskurse für Arbeitsuchende zur Erlangung beruflicher Qualifikationen. Es zielt auch darauf ab, den Zugang zur Grundbildung für Arbeitsuchende zu verbessern.
Finanzielle Anreize für Arbeitgeber, um Geringqualifizierten Weiterbildungsmöglichkeiten am Arbeitsplatz anzubieten.	Die Regierung plant, die finanzielle Unterstützung für Arbeitnehmer zur Teilnahme an der Erwachsenenbildung und zur Erlangung beruflicher Abschlüsse deutlich zu verbessern.
Erleichterung der Teilnahme von Geringqualifizierten an der Erwachsenenbildung durch weitere Maßnahmen zur Validierung von nicht zertifizierten Fähigkeiten, einschließlich der am Arbeitsplatz erworbenen, und durch Kontaktaufnahme am Arbeitsplatz.	Das Bundesbildungsministerium plant, das Pilotprojekt Vali-Kom auszuweiten.
Verbesserung der Transparenz auf dem Markt für Erwachsenenbildung und Erleichterung des Zugangs zur Beratung über Schulungen für Erwachsene Sorgfältige Überwachung der Ergebnisse der finanziellen Unterstützungsprogramme für die Erwachsenenbildung und -ausbildung	Eine „Nationale Online-Weiterbildungsplattform“ (NOW) wird entwickelt, um die Transparenz in der Erwachsenenbildung und den Zugang dazu zu verbessern, indem geeignete Informationen über Kurse, Finanzierungsmöglichkeiten und Qualifikationsanforderungen auf dem Arbeitsmarkt bereitgestellt werden. Der Start der Plattform ist für Anfang 2024 geplant.
Liberalisierung der Berufszugangsbedingungen, wobei Sektoren mit Angebotsengpässen (wie das Baugewerbe) Vorrang eingeräumt wird und die Stärken des Systems der beruflichen Bildung und Schulung erhalten bleiben	Im Jahr 2020 wurde in 12 Berufen der Meisterzwang für die Führung eines Handwerksbetriebs wieder eingeführt, was die Zugangsbedingungen weiter einschränkte.

Quelle: (OECD, 2023[68]), (OECD, 2023[60]).

Die folgenden Initiativen sind zwar nicht speziell auf den Bausektor ausgerichtet, könnten aber auf ihn zutreffen.

Strategie zur Schließung von „grünen Qualifikationslücken“ in Kopenhagen, Dänemark

Die Stadt Kopenhagen hat in Zusammenarbeit mit einer Reihe lokaler und regionaler Akteure eine Strategie zur Schließung von „grünen Qualifikationslücken“ entwickelt. Die Strategie unterstützt mehrere Initiativen, darunter:

Initiativen zur Demonstration der Möglichkeiten einer „grünen Karriere“, die von Berufsbildungseinrichtungen angeboten werden, um junge Menschen anzuziehen; Verbesserung der Berufsberatung für „grüne Bildung“ für Jugendliche; Erhöhung der Beteiligung von Frauen in relevanten Berufen; und Unterstützung von Unternehmen bei der Umschulung ihrer Mitarbeiter.

Initiativen zur Entwicklung von „grünen Weiterbildungskursen“, Zusammenarbeit mit Unternehmen, um Arbeitslosen „grüne Praktika“ anzubieten, Beratung für Arbeitslose, um sie in grüne Weiterbildungskurse und Praktika zu lenken.

Ein Schulungszentrum mit dem Schwerpunkt „grüne Kompetenzen“ in Navarra, Spanien

Ende der 1990er Jahre begann die spanische Region Navarra, stark in erneuerbare Energien zu investieren. Die Stromerzeugung aus erneuerbaren Quellen stieg von Null im Jahr 1994 auf 65 % im Jahr 2009. Dies führte zu einer erhöhten Nachfrage nach Fachkräften für erneuerbare Energien, wie Personal für die Wartung von Windkraftanlagen. Der Mangel an Fachkräften wurde zu einem Hindernis für die weitere Expansion der Branche der erneuerbaren Energien.

Als Reaktion darauf gründete die Regionalregierung in Zusammenarbeit mit dem Unternehmerverband von Navarra und dem Industrieverband von Navarra das CENIFER, ein öffentliches Schulungszentrum für erneuerbare Energien und Energieeffizienz. Das Zentrum trug dazu bei, den Fachkräftemangel in der Region zu beheben, indem es an die Bedürfnisse der Unternehmen angepasste Schulungen von unterschiedlicher Dauer und mit starkem Praxisbezug anbot. CENIFER bietet nun eine breite Palette von Kursen für Berufe wie Techniker in Kraftwerken, Wasserwirtschaft, Wärme- und Flüssigkeitsanlagen, Solarthermie usw. an.

Quelle: (OECD, 2023[70]).

Finanzierung der Dekarbonisierung von Gebäuden

Finanzierungsinstrumente zur Dekarbonisierung von Gebäuden können sowohl traditionelle Gebäudefinanzierungsinstrumente als auch speziell für Dekarbonisierungsmaßnahmen entwickelte Mechanismen umfassen.

Zu den traditionellen Instrumenten gehören Eigenkapital und Eigenfinanzierung, Leasing von Anlagen, gewerbliche Kredite und Anleihen. Angesichts des Umfangs und des Tempos, in dem die Netto-Null-Umstellung erfolgen muss, müssen diese Instrumente jedoch weiterentwickelt werden, um Anreize für energieeffiziente Renovierungen und Umrüstungen zu schaffen. „Grüne“ Äquivalente zu diesen Instrumenten können solche Anreize bieten (LaSalle, 2022[71]). Zum Beispiel bieten „grüne“ oder

„energieeffiziente“ Hypothekenprogramme vergünstigte Zinssätze für Gebäude mit besserer Leistung oder zusätzliche Darlehen für Energieeffizienzverbesserungen. Oder „Solarleasingverträge“ erlauben es Unternehmen, Photovoltaikanlagen ohne Vorlaufkosten zu installieren und monatliche Mieten für die Anlagen zu zahlen. Je nachdem, ob es sich um ein Betriebs- oder ein Kapitalleasing handelt, können Gebäudeeigentümer die Anlagen am Ende des Vertrags zu einem reduzierten Preis kaufen (LaSalle, 2022[71]).

Spezielle Instrumente für die Dekarbonisierung von Gebäuden machen sich die Tatsache zunutze, dass energieeffiziente Gebäude weniger Energie für ihren Betrieb benötigen. In der Regel zielen diese Instrumente auf eine langfristige Rentabilität durch Verbesserungen der Energieeffizienz und der Energieerzeugung vor Ort ab, die die Energiekosten senken (LaSalle, 2022[71]). Bei Finanzierungs- und Rückzahlungsmodellen auf Rechnung beispielsweise zahlen Versorgungsunternehmen oder Drittpartei-Kreditgeber für die Modernisierungen, und die Kunden zahlen den Kreditgebern dann über ihre Energierechnungen zurück. Oder PACE-Programme (Property Assessed Clean Energy) erlauben es Gebäudeeigentümern, die Kosten im Laufe der Zeit über die Grundsteuerrechnungen zurückzuzahlen (LaSalle, 2022[71]).

Neue Geschäftsmodelle, die die anfänglichen Kapitalkosten für die energieeffizientesten und kohlenstoffärmsten Gebäudetechnologien senken, sind von entscheidender Bedeutung (IEA, 2023[72]). Die HK könnte weitere Finanzierungsprogramme für die Dekarbonisierung von Geschäftsgebäuden prüfen.

Zuschüsse und Förderprogramme müssen angepasst werden, um sicherzustellen, dass alle Unternehmen, insbesondere KMU, es sich leisten können, ihre Heizungssysteme zu ersetzen, um die neuen Vorschriften zu erfüllen. Die politischen Maßnahmen sollten speziell die Installation von Wärmepumpen in Gebäuden mit historisch niedrigen Installationsraten fördern, wie z. B. in Mehrfamilienhäusern und Gebäuden mit gemeinschaftlichen Heizsystemen (Müller and Langenheld, 2022[53]).

Die Anhebung der Gebäudehöhen erhöht den Immobilienwert, der auch zur Finanzierung notwendiger energiesparender Investitionen durch landbasierte Finanzierungsinstrumente genutzt werden kann. Die Finanzierung über Grundstücke ermöglicht es den lokalen Regierungen, Wertsteigerungen von Grundstücken, die sich aus der Bereitstellung öffentlicher Infrastrukturen und Änderungen der Flächennutzungsvorschriften ergeben, wieder hereinzuholen (OECD, 2022[73]).

Wichtige Maßnahmen

Sofortmaßnahmen

- Unternehmen sollten alle mit fossilen Brennstoffen betriebenen Heizungsanlagen, die 20 Jahre oder älter sind und in naher Zukunft ersetzt werden müssen, überprüfen und die erforderlichen Maßnahmen für den Ersatz durch Wärmepumpen oder Fernwärme ermitteln, einschließlich der erforderlichen Investitionen in die Energieeffizienz.
- Unternehmen sollten Heizungsanlagen, die von fossilen Brennstoffen abhängig sind, durch Systeme für erneuerbare Energien, insbesondere Wärmepumpen, ersetzen, auch in bestehenden Gebäuden, und dabei Anlagen vermeiden, die mit Wasserstoff oder Biomasse befeuert werden müssen.
- Unternehmen sollten bis 2030 eine Renovierungsrate von 2,5 % der Gebäude pro Jahr anstreben.
- Die HK könnte dabei helfen, Gebäude zu identifizieren, die zuerst renoviert werden müssen, um die Energieeffizienz zu verbessern, z. B. Gebäude mit hohem Energieverbrauch, ohne Zugang zu

Fernwärme oder die leichter zu renovieren sind. Unternehmen können Ereignisse wie einen Wechsel des Pächters oder aus anderen Gründen notwendige Renovierungen nutzen, um die Gebäudehülle zu sanieren.

- Die HK sollte dazu beitragen, Engpässe bei der Qualifikation und den Baukapazitäten zu ermitteln, sowie Richtlinien zu deren Beseitigung empfehlen.
- Die HK könnte helfen, Finanzierungslücken zu bewerten und neue Finanzierungsinstrumente vorzuschlagen, insbesondere für KMU.
- Die HK könnte dabei helfen, Hindernisse für die Installation von Wärmepumpen und Solarzellen in den Bauvorschriften zu bewerten.
- Die HK könnte für all diese Schritte sensibilisieren und Orientierungshilfen geben sowie Arbeitsgruppen und Netzwerke einrichten, um den Wissensaustausch und die Koordinierung zwischen den Unternehmen zu erleichtern.
- Öffentliche Unternehmen könnten eine führende Rolle übernehmen, um mit gutem Beispiel voranzugehen und als Vorbilder zu dienen.

Bis 2030

- Die HK könnte dabei helfen zu beurteilen, ob alle Schritte unternommen werden, um sicherzustellen, dass Qualifikationsdefizite, Kapazitätsengpässe beim Bau und Finanzierungslücken geschlossen werden.

Bis 2040

- Unternehmen sollten alle auf fossilen Brennstoffen basierenden Heizsysteme in Geschäftsgebäuden und kommerziell vermieteten Wohnungen vollständig durch erneuerbare Alternativen ersetzen.

Quellenangaben

- Agora Energiewende (2023), https://static.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2022/2022-04_DE_Scaling_up_heat_pumps/2022_Scaling_up_heat_pumps_in_Germany.pdf [55]
- Airbus (2022), Progressing with purpose: Annual report. [10]
- Albadi, M. and E. El-Saadany (2008), A summary of demand response in electricity markets, <https://doi.org/10.1016/j.epr.2008.04.002>. [38]
- Alkousaa, R. and C. Kraemer (2023), German parliament passes law to phase out gas and oil heating, <https://www.reuters.com/world/europe/german-parliament-passes-watered-down-heating-law-2023-09-08/#:~:text=Some%20parliamentarians%20voted%20in,run%20on%2065%25%20renewable%20energy> [52]
- Alrawi, O. et al. (2022), “Economic Viability of Rooftop Photovoltaic Systems and Energy Storage Systems in Qatar”, *Energies*, Vol. 15/9, <https://doi.org/10.3390/en15093040>. [43]
- ArcelorMittal (2021), Climate Action Report. [11]

Aurubis (2023), Enabling tomorrow: sustainability report. [4]

Beiersdorf (2022), Formula for sustainable progress. [9]

Bundesverband der Deutschen Heizungsindustrie (2023), Jahresbilanz 2022: Heizungsmarkt boomt, [69]
https://www.bdh-industrie.de/fileadmin/user_upload/Pressemeldungen/PM_BDH_Jahresbilanz_Heizungsindustrie_13022023b.pdf.

Bürgerschaft der Freien und Hansestadt Hamburg (2023), Mitteilung des Senats an die Bürgerschaft: Zweite Fortschreibung des Hamburger Klimaplan, [65]
<https://www.hamburg.de/contentblob/17316156/81785d14d09a5942af1d6c0fccf59c9e/data/d-zweite-fortschreibung-hamburger-klimaplan.pdf>.

Climate Action Tracker (2016), Constructing the Future: Will the Building Sector Use its Decarbonisation Tools?, [56]
<https://climateanalytics.org/publications/2016/constructing-the-future-will-the-building-sector-use-its-decarbonisation-tools/>.

ENEFIRST (2020), Report on international experiences with E1st. Deliverable D2.2 of the ENEFIRST project, funded by the H2020 programme., [39]
<http://enefirst.eu/> (accessed on 13 October 2023).

Energy Agency, I. (n.d.), Unlocking the Potential of Distributed Energy Resources Power system opportunities and best practices, [78]
<http://www.iea.org/t&c/>.

Erbach, G. (2019), Energy storage and sector coupling: Towards an integrated, decarbonised energy system, European Parliamentary Research Service. [31]

European Commission (2022), Carbon Border Adjustment Mechanism. [18]

European Commission (2022), Green Deal: EU agrees law to fight global deforestation and forest degradation driven by EU production and consumption. [16]

European Commission (2022), Just and sustainable economy: Commission lays down rules for companies to respect human rights and environment in global value chains. [14]

Gea-Bermúdez, J. et al. (2021), “The role of sector coupling in the green transition: A least-cost energy system development in Northern-central Europe towards 2050”, Applied Energy, Vol. 289, [32]
<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.116685>.

Greenhouse Gas Protocol (2023), Life Cycle Databases. [20]

Greenhouse Gas Protocol (2013), Technical Guidance for Calculation Scope 3 Emissions. [19]

Hamburg Klimabeirat (2023), Photovoltaik in Hamburg. [26]

Hamburg Statistics Office (2023), <https://www.statistik-nord.de/zahlen-fakten/umwelt-energie/energie/dokumentenansicht/product/3381/energie-und-CO2-bilanzen-fuer-hamburg-361?cHash=4201529a752424c94a05eb3c4ae751ea> [50]

Hamburg Statistics Office (2022) [51]

Hamburger Behörde für Stadtentwicklung und Wohnen (2022), Steckbrief Gewerbe, Handel und Dienstleistungen sowie übrige Verbraucher. [61]

Hamburger Behörde für Stadtentwicklung und Wohnen (2022), Steckbrief Sektor Private Haushalte. [66]

Hamburger Behörde für Stadtentwicklung und Wohnen (2022), Steckbrief Sektorübergreifend. [62]

Hapag-Lloyd (2022), Making a difference in the future of shipping. [3]

Hargroves, K. et al. (2023), “The Role of Distributed Energy Resources and Associated Business Models in the Decentralised Energy Transition: A Review”, Energies, Vol. 16/10, [40]
<https://doi.org/10.3390/en16104231>.

- He, G. et al. (2021), "Sector coupling: Via hydrogen to lower the cost of energy system decarbonization", [48]
Energy and Environmental Science, Vol. 14/9, pp. 4635-4646, <https://doi.org/10.1039/d1ee00627d>.
- Hossain, M. et al. (2016), Role of smart grid in renewable energy: An overview, Elsevier Ltd, [29]
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.09.098>.
- IEA (2023), Energy system – Buildings, <https://www.iea.org/energy-system/buildings>. [72]
- IEA (2023), How can smart charging steer electric vehicle uptake in India? – Analysis - IEA, [35]
<https://www.iea.org/commentaries/how-can-smart-charging-steer-electric-vehicle-uptake-in-india>
(accessed on 18 July 2023).
- IEA (2022), Renewables 2022: Analysis and forecast to 2027, OECD Publishing, Paris, [42]
<https://doi.org/10.1787/96bc279a-en>.
- IEA (2022), Steering Electricity Markets Towards a Rapid Decarbonisation, OECD Publishing, Paris, [37]
<https://doi.org/10.1787/d2f0068c-en>.
- IEA (2022), World Energy Outlook 2022, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/3a469970-en>. [25]
- IEA (2022), World Energy Outlook Special Report The Future of Heat Pumps, <http://www.iea.org>. [76]
- International Energy Agency (2022), Raw materials strategy of the Federal Government: Securing a [17]
sustainable supply of non-energy mineral raw materials for Germany.
- International Renewable Energy Agency, T. (2023), LOW-COST FINANCE FOR THE ENERGY TRANSITION. [46]
- Kavanaugh, S., C. Gilbreath and J. Kilpatrick (1995), Cost Containment for Ground-source heat pumps, [59]
<https://www.osti.gov/etdweb/servlets/purl/895130>.
- Kost, C. et al. (2021), LEVELIZED COST OF ELECTRICITY RENEWABLE ENERGY TECHNOLOGIES, [28]
<http://www.ise.fraunhofer.de>.
- Kraftnät, S. (2017), Finer time resolution in Nordic power markets: A Cost Benefit Analysis. [36]
- Krane, J. and R. Idel (2021), More transitions, less risk: How renewable energy reduces risks from mining, [34]
trade and political dependence, Elsevier Ltd, <https://doi.org/10.1016/j.erss.2021.102311>.
- Kyllmann, C. (2023), Clean Energy Wire, [https://www.cleanenergywire.org/news/gas-boilers-continue-
dominate-german-heating-market-heat-pumps-rise](https://www.cleanenergywire.org/news/gas-boilers-continue-dominate-german-heating-market-heat-pumps-rise). [54]
- LaSalle, J. (2022), Financing Net Zero Carbon Buildings, [https://www.climatepolicyinitiative.org/wp-
content/uploads/2022/07/Buildings-Scoping-Paper-final.pdf](https://www.climatepolicyinitiative.org/wp-content/uploads/2022/07/Buildings-Scoping-Paper-final.pdf). [71]
- Manz, P., T. Fleiter and W. Eichhammer (2023), "The effect of low-carbon processes on industrial excess [64]
heat potentials for district heating in the EU: A GIS-based analysis", Smart Energy, Vol. 10,
<https://doi.org/10.1016/j.segy.2023.100103>.
- Marquad & Bahls (2020), Sustainability Report. [8]
- Material Economics (2019), Industrial Transformation 2050 – Pathways to Net-Zero Emissions, [58]
<https://materialeconomics.com/publications/industrialtransformation-2050>.
- Maxingvest AG (2022), Maxingvest AG. [7]
- Miara, M. (2021), Innovation4E, [https://blog.innovation4e.de/en/2021/02/24/does-a-house-have-to-be-
renovated-first-in-order-to-install-a-heat-pump/](https://blog.innovation4e.de/en/2021/02/24/does-a-house-have-to-be-renovated-first-in-order-to-install-a-heat-pump/). [57]
- Müller, S. and A. Langenheld (2022), Agora Energiewende, [https://www.agora-
energie-wende.de/en/blog/a-heat-pump-revolution-for-germany-1/](https://www.agora-energie-wende.de/en/blog/a-heat-pump-revolution-for-germany-1/). [53]
- Münster, M. et al. (2020), Sector Coupling: Concepts, State-of-the-art and Perspectives. [45]

NEA/IEA (2020), Projected Costs of Generating Electricity 2020, OECD Publishing, Paris, https://doi.org/10.1787/a6002f3b-en .	[27]
Nordex (2022), Together for change – wind for a sustainable future.	[12]
OECD (2023), “Decarbonising homes in cities in the Netherlands: A neighbourhood approach”, OECD Regional Development Papers 42, https://doi.org/10.1787/b94727de-en .	[67]
OECD (2023), Job Creation and Local Economic Development 2023: Bridging the Great Green Divide, https://doi.org/10.1787/21db61c1-en .	[70]
OECD (2023), OECD Economic Surveys: Germany 2023, https://doi.org/10.1787/9642a3f5-en .	[68]
OECD (2023), OECD Environmental Performance Reviews: Germany 2023, OECD Environmental Performance Reviews, OECD Publishing, Paris, https://doi.org/10.1787/f26da7da-en .	[24]
OECD (2023), OECD interviews with local stakeholders.	[60]
OECD (2023), OECD SME and Entrepreneurship Outlook 2023, OECD Publishing, Paris, https://doi.org/10.1787/342b8564-en .	[23]
OECD (2022), “Financing SMEs for sustainability: Drivers, Constraints and Policies”, OECD SME and Entrepreneurship Papers, No. 35, OECD Publishing, Paris, https://doi.org/10.1787/a5e94d92-en .	[21]
OECD (2022), Global Compendium of Land Value Capture Policies, https://www.oecd-ilibrary.org/urban-rural-and-regional-development/global-compendium-of-land-value-capture-policies_4f9559ee-en .	[73]
OECD (2021), OECD instruments on responsible business conduct: supporting implementation and accountability of business’ net-zero commitments.	[2]
OECD (2021), OECD Regional Outlook 2021: Addressing COVID-19 and Moving to Net Zero Greenhouse Gas Emissions, OECD Publishing, Paris, https://doi.org/10.1787/17017efe-en .	[49]
OECD (2021), Policy Trends in Environmental Due Diligence.	[13]
OECD (2019), OECD Territorial Reviews: Hamburg Metropolitan Region, Germany, OECD Territorial Reviews, OECD Publishing, Paris, https://doi.org/10.1787/29afa27f-en .	[22]
Otto Group (2022), Annual Report.	[5]
Ould Amrouche, S. et al. (2016), “Overview of energy storage in renewable energy systems”, International Journal of Hydrogen Energy, Vol. 41/45, pp. 20914-20927, https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2016.06.243 .	[44]
Renewable Energy Agency, I. (2021), Sector coupling in facilitating integration of variable renewable energy in cities sector coupling in facilitating integration of variable renewable energy in cities, http://www.irena.org .	[41]
Renewable Energy Agency, I. (2017), ELECTRICITY STORAGE AND RENEWABLES: COSTS AND MARKETS TO 2030, http://www.irena.org .	[47]
Rinaldi, G. (2023), Thermal turnaround: German government settles dispute over heating law, https://www.politico.eu/article/germany-government-settle-dispute-heating-law/ .	[77]
Sedex (2023), Germany’s new Supply Chain Due Diligence Act: What you need to know.	[15]
Task Force on Climate-Related Financial Disclosures (2017), Recommendations of the Task Force on Climate-related Financial Disclosures.	[74]
TCFD (2017), Recommendations Task Force on Climate-Related Financial Disclosures, https://www.fsb-tcfd.org/recommendations/ (accessed on 19 July 2023).	[1]

- United Nations' High-Level Expert Group (2022), Integrity Matters: Net Zero Commitments by Businesses, Financial Institutions, Cities and Regions. [75]
- Van Nuffel, L. et al. (2018), Sector coupling: how can it be enhanced in the EU to foster grid stability and decarbonise?. [33]
- Vanholme, S. et al. (2022), Sector coupling: A key concept for accelerating the energy transformation. [30]
- Vattenfall (2022), Leading the way to fossil freedom: Annual and sustainability report. [6]
- Wehrmann, B. (2023), Clean Energy Wire, <https://www.cleanenergywire.org/news/about-half-german-households-could-use-district-heating-decarbonise-industry>. [63]

Anhang 2.A. Fragebogen für Hamburger Unternehmen

Allgemeine Angaben

1. Welcher Branche gehört Ihr Unternehmen an?

- Industrie
- Bau
- Handel
- Hotel- und Gaststättengewerbe
- Logistik und Transport
- Finanzsektor
- IT und Medien
- Gesundheitswesen
- Sonstige Dienstleistungen
- Öffentliche Verwaltung

2. Wie viele Mitarbeiter sind in Ihrem Unternehmen tätig?

- 0 bis 3 Angestellte
- 4 bis 9 Angestellte
- 10 bis 19 Angestellte
- 20 bis 49 Angestellte
- 50 bis 99 Angestellte
- 100 bis 249 Angestellte
- 250 bis 499 Angestellte
- 500 oder mehr Angestellte

Klimaschutzaktivitäten Ihres Unternehmens

3. Wie wichtig ist der Klimaschutz für Ihr Unternehmen?

- Überhaupt nicht wichtig
- Wenig wichtig
- Etwas wichtig
- Wichtig
- Sehr wichtig

4. Hat sich Ihr Unternehmen ein Emissionsziel für Netto-Null-Treibhausgase gesetzt?

- Ja
- Nein

Falls ja:

5.a) Bis wann:

- 2040 oder früher
- 2041–2050
- Später
- Nicht bekannt

5.b) Hat Ihr Unternehmen sein Netto-Null-Ziel öffentlich bekannt gegeben?

- Ja, bereits veröffentlicht
- Nein, aber es ist geplant
- Nein
- Nicht bekannt

5.c) Hat sich Ihr Unternehmen Zwischenziele gesetzt?

- Ja
- Nein

5.d) Für welchen Scope der Emissionen haben Sie sich Ziele gesetzt?

- Scope 1 – direkte Treibhausgasemissionen aus dem Betrieb des Unternehmens
- Scope 2 – indirekte Treibhausgasemissionen aus dem Verbrauch von Strom, Wärme und Dampf des Unternehmens
- Scope 3 – alle anderen indirekten Emissionen in der Wertschöpfungskette (vor- und nachgelagert) des Unternehmens
- Ich weiß es nicht

5.e) Verfügt Ihr Unternehmen über einen Maßnahmenplan, um Klimaneutralität zu erreichen?

- In der Umsetzung
- In Planung
- Kein Maßnahmenplan

5.f) Welche Maßnahmen plant Ihr Unternehmen, um Klimaneutralität zu erreichen?

(Mehrfachnennungen möglich)

Verantwortlichkeiten im Management festlegen

- Ja, bereits umgesetzt
- Ja, in der Umsetzung oder Planung
- Nein

Das Klimaneutralitätsziel in die Personalplanung einbeziehen

- Ja, bereits umgesetzt
- Ja, in der Umsetzung oder Planung
- Nein

Investitionen in klimaneutrale Technologien, einschließlich erneuerbarer Energien und deren flexible Nutzung, wenn Wind- und Sonnenenergie verfügbar sind

- Ja, bereits umgesetzt
- Ja, in der Umsetzung oder Planung
- Nein

Senkung des Energieverbrauchs

- Ja, bereits umgesetzt
- Ja, in der Umsetzung oder Planung
- Nein

Verringerung des Materialverbrauchs, Kreislaufwirtschaft

- Ja, bereits umgesetzt
- Ja, in der Umsetzung oder Planung
- Nein

Neue, klimaneutrale Produkte im Vertrieb

- Ja, bereits umgesetzt

- Ja, in der Umsetzung oder Planung
- Nein

Klimaneutrale Produkte im Einkauf

- Ja, bereits umgesetzt
- Ja, in der Umsetzung oder Planung
- Nein

Andere

- Ja, bereits umgesetzt
- Ja, in der Umsetzung oder Planung
- Nein

Wenn nein [hat kein Netto-Null-Ziel festgelegt]:

5.g) Warum hat Ihr Unternehmen kein Emissionsziel für Netto-Null-Treibhausgase festgelegt?
(Mehrfachnennungen möglich)

- In Entwicklung
- Fehlende Ressourcen zur Festlegung eines Ziels (benötigt mehr Unterstützung)
- Kein Nutzen für das Unternehmen
- Führt zu Wettbewerbsnachteilen
- Nicht relevant für das Unternehmen
- Ich weiß es nicht
- Sonstiges

5.h) Soll die Finanzierung von Treibhausgasemissionsreduktionen an anderer Stelle (z. B. Finanzierung von Aufforstungsmaßnahmen oder Treibhausgasemissionsreduktionen anderer Unternehmen) einen wesentlichen Teil (ein Drittel oder mehr) der Emissionsreduktion zur Erreichung des Klimaneutralitätsziels in Ihrem Unternehmen ausmachen?

- Ja
- Nein
- Ich weiß es nicht

6. Hat sich Ihr Unternehmen explizite Ziele für den Ausstieg aus fossilen Brennstoffen und die verstärkte Nutzung erneuerbarer Energien gesetzt?

- Ja, Ausstieg aus fossilen Brennstoffen
- Ja, erneuerbare Energien ausbauen
- Ja, beides
- Nein, weder noch

7. Welche geschäftlichen Chancen und Herausforderungen sehen Sie für Ihr Unternehmen im Bereich der Klimaneutralität?

(Mehrfachnennungen möglich)

Chancen:

- Bessere Finanzierung für Investitionen in klimaneutrale Geschäftsmodelle
- Gewinnsteigerung und/oder Wettbewerbsvorteil durch CO₂-arme Produkte
- Neue und effizientere Produktionsverfahren
- Neue Geschäftsfelder werden erschlossen
- Attraktivität als Arbeitgeber
- Besseres Produktmarketing

- Neue Lieferanten, Kunden und Netzwerke
- Sonstiges
- Keine Chancen

Herausforderungen:

- Investitionen in klimaneutrale Produktion und deren Finanzierung
- Ungewisse Auswirkungen auf Kosten, Umsatz und Betrieb
- Höhere Produktionskosten
- Mangel an qualifizierten Arbeitskräften und Facharbeitern
- Umstrukturierung von Unternehmensstrukturen und Management
- Bedrohungen und Wegfall des Geschäftsfeldes
- Verlust von Lieferanten, Kunden und Netzwerken
- Sonstiges
- Keine Herausforderungen

8. Überwacht Ihr Unternehmen Indikatoren (z. B. Emissionen, Energieverbrauch) und legt diese offen?

- Ja
- Nein
- Ich weiß es nicht

Falls ja:

Welche Klimaindikatoren überwacht Ihr Unternehmen?

Treibhausgasemissionen

Treibhausgasemissionen Scope 1 (direkte Treibhausgasemissionen aus den Geschäftsaktivitäten des Unternehmens)

- Überwachung
- Offenlegung
- Weder Überwachung noch Offenlegung

Treibhausgasemissionen Scope 2 (indirekte Treibhausgasemissionen aus dem Verbrauch von Strom, Wärme und Dampf durch das Unternehmen)

- Überwachung
- Offenlegung
- Weder Überwachung noch Offenlegung

Treibhausgasemissionen Scope 3 (alle anderen indirekten Emissionen in der Wertschöpfungskette, vor- und nachgelagert, des Unternehmens)

- Überwachung
- Offenlegung
- Weder Überwachung noch Offenlegung

Emissionsreduzierung

- Überwachung
- Offenlegung
- Weder Überwachung noch Offenlegung

Gesamtenergieverbrauch

- Überwachung
- Offenlegung
- Weder Überwachung noch Offenlegung

Energieeffizienz

- Überwachung
- Offenlegung
- Weder Überwachung noch Offenlegung

Verbrauch/Erzeugung von erneuerbarer Energie

- Überwachung
- Offenlegung
- Weder Überwachung noch Offenlegung

Auswirkungen auf die Ökosysteme in den Lieferketten

- Überwachung Offenlegung
- Weder Überwachung noch Offenlegung

Einnahmen aus kohlenstoffarmen Produkten

- Überwachung
- Offenlegung
- Weder Überwachung noch Offenlegung

Andere

9. Wie bewerten Sie die Verfügbarkeit der folgenden Unterstützungsleistungen auf dem Weg zur Klimaneutralität?

Beratende Gremien

- Nicht verfügbar
- Verfügbar, aber nicht ausreichend
- Ausreichend verfügbar

Netzwerke mit Unternehmen in der eigenen Wertschöpfungskette, wie Lieferanten oder Kunden

- Nicht verfügbar
- Verfügbar, aber nicht ausreichend
- Ausreichend verfügbar

Andere Netzwerke, z. B. mit anderen Unternehmen, mit Experten oder Forschungseinrichtungen

- Nicht verfügbar
- Verfügbar, aber nicht ausreichend
- Ausreichend verfügbar

Finanzielle Unterstützung

- Nicht verfügbar
- Verfügbar, aber nicht ausreichend
- Ausreichend verfügbar

10. Hat Ihr Unternehmen eines der folgenden Geschäftsmodelle mit Kreislaufwirtschaft eingeführt?

- *Traditionelle Einsatzstoffe durch Sekundärmaterial ersetzen* (z. B. Verwendung von recyceltem Kunststoff für Büromöbel)
- *Gemeinsame Nutzung von Investitionsgütern*, einschließlich Bezahlung einer Dienstleistung anstelle des Eigentums an einem Produkt (z. B. Druckdienstleistungen) oder Miete (z. B. Firmenwagen)
- *Aufarbeitung und Wiederaufbereitung* von minderwertigen Produkten, entweder gegen eine Gebühr oder zum anschließenden Weiterverkauf an den ursprünglichen oder neuen Eigentümer
- *Sonstiges*
- *Keine Einführung von Geschäftsmodellen mit Kreislaufwirtschaft*

11. Was sind die Haupthindernisse, die der Einführung von Geschäftsmodellen mit Kreislaufwirtschaft in Ihrem Unternehmen im Wege stehen? (Wählen Sie die 3 wichtigsten Hindernisse aus)

- Mangel an technologischen Lösungen/Möglichkeiten
- Mangel an finanziellen Ressourcen
- Kulturelle Barrieren/Probleme mit der Akzeptanz
- Mangel an Humanressourcen
- Mangelnde Fähigkeiten
- Fehlen eines förderlichen Rechtsrahmens
- Mangelndes Bewusstsein für Geschäftsmodelle mit Kreislaufwirtschaft/
Geringe Aufgeschlossenheit
- Transaktionskosten für den Übergang von einem linearen Eigentumsmodell zu einem stärker nachhaltigen Modell
- Fehlen einer kritischen Größenordnung

Wenn Ihr Unternehmen Erfahrungen auf dem Weg zur Klimaneutralität gesammelt hat (z. B. Ihre Maßnahmenpläne oder Nachhaltigkeitsberichte), die Sie mit uns teilen möchten, würden wir uns freuen, diese zu erhalten. Informationen über Geschäftsmodelle mit Kreislaufwirtschaft, die diesen Weg unterstützen, sind ebenfalls willkommen. Vielen Dank!

Anhang Tabelle 2.A.1 Teilnahme an der Umfrage

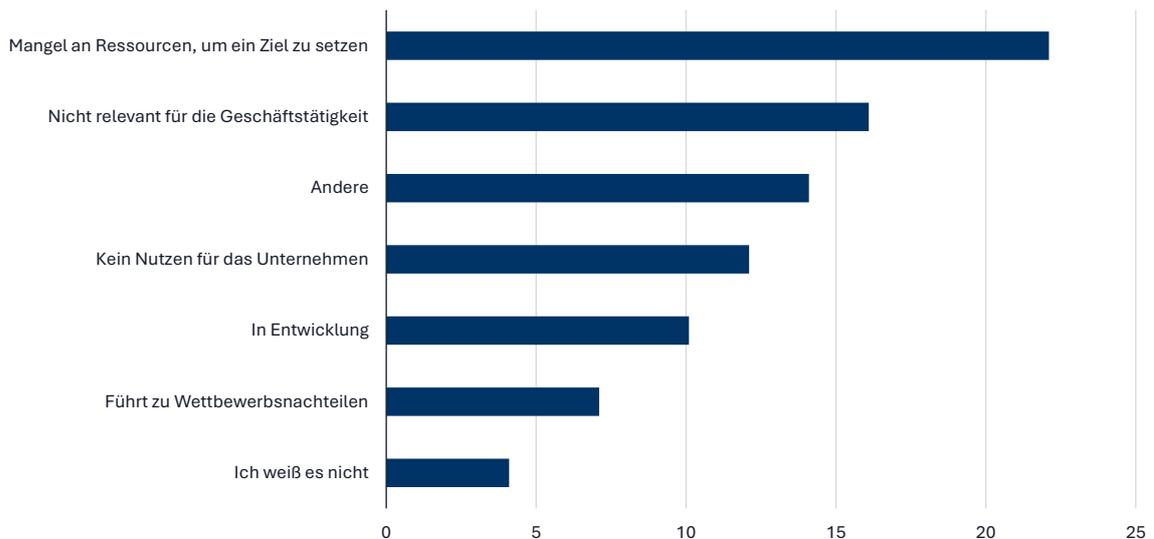
Vergleich der Merkmale der Unternehmen, die an der OECD-HK-Umfrage teilgenommen haben, mit den Merkmalen der HK-Mitgliedsunternehmen.

1. Vergleich der Haupttätigkeitsbereiche der Unternehmen				
	Befragte	Anteil an allen Befragten in %	Anzahl der HK-Mitgliedsunternehmen	Anteil an allen HK-Mitgliedsunternehmen in %
Industrie	9	7,2 %	5006	2,9 %
Bau	10	8,0 %	9002	5,1 %
Handel	14	11,2 %	32474	18,6 %
Gastgewerbe	3	2,4 %	6647	3,8 %
Logistik und Transport	15	12,0 %	11553	6,6 %
Finanzsektor	5	4,0 %	14362	8,2 %

IT und Medien	16	12,8 %	15075	8,6 %
Gesundheitswesen	8	6,4 %	3164	1,8 %
Sonstige Dienstleistungen	45	36,0 %	77545	44,3 %
Öffentliche Verwaltung	0	0,0 %	204	0,1 %
Gesamt	125	100,0 %	175032	100,0 %
2. Vergleich der Angstelltenzahl				
	Befragte	Anteil an allen Befragten in %	Anzahl der HK- Mitgliedsunternehmen	Anteil an allen HK-Mitgliedsunternehmen in %
0 bis 3	9	7,2 %	157163	87,1 %
4 bis 9	8	6,4 %	13959	7,7 %
10 bis 19	18	14,4 %	3976	2,2 %
20 bis 49	25	20,0 %	2886	1,6 %
50 bis 99	19	15,2 %	1115	0,6 %
100 bis 499	18	14,4 %	1004	0,6 %
500 oder mehr	28	22,4 %	258	0,1 %
Gesamt	125	100,0 %	180361	100,0 %

Quelle: Umfrage durchgeführt von HK (2023).

Abbildung 2.A.16 Die meisten Unternehmen haben sich keine Netto-Null-Ziele gesetzt, weil ihnen die Mittel fehlen

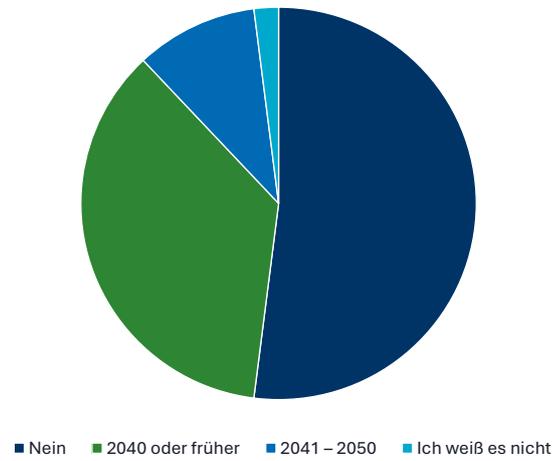


Quelle: Umfrage durchgeführt von HK (2023).

Abbildung 2.A.17 Von den Unternehmen, die Netto-Null-Ziele haben, hat die Mehrheit ein Klimaneutralitätsziel bis 2040 oder früher

Haben Sie sich ein Netto-Null-Ziel gesetzt?

Bis wann?



Quelle: Umfrage durchgeführt von HK (2023).

3. Klimaneutralität im Güterverkehr und in der Industrie

Der Hamburger Hafen hat eine führende Rolle bei der Erreichung der Klimaneutralität bis 2040 übernommen. Dieses Kapitel zeigt, dass Hamburg aufgrund seiner strategischen Lage zu einem bedeutenden klimaneutralen Verkehrszentrum werden kann. Dabei baut es auf seine starke Schieneninfrastruktur. Auf diese Weise kann Hamburg klimaneutrale Transportdienstleistungen für Unternehmen in ganz West- und Mitteleuropa schnell und kostengünstig anbieten. Dazu gehört auch die Nutzung des Potenzials für ein Wasserstoffzentrum. Der Übergang zu emissionsfreien Kraftstoffen für den internationalen Schiffsverkehr muss daher jetzt vorbereitet werden. Dies wird die Kosten bis 2030 aufgrund der anfänglich höheren Kraftstoffproduktionskosten und der erforderlichen Investitionen in die emissionsfreie Schifffahrt erhöhen, aber ein energiesparender Kraftstoffmix könnte dazu beitragen, die längerfristigen Kosten und Auswirkungen auf die Handelsströme gering zu halten. Die Maximierung der Nutzung des Schienenverkehrs bringt über Hamburg hinaus Vorteile. Dazu müssen Engpässe in der Eisenbahninfrastruktur beseitigt und die Digitalisierung vorangetrieben werden. Auch im Straßenverkehr sind schnelle, große Schritte in Richtung Elektrifizierung erforderlich, was eine elektrische Ladeinfrastruktur und weitere Anstrengungen zur Verbesserung der Logistik erfordert. Hamburg kann eine wichtige Rolle bei der Lieferung von importiertem grünem Wasserstoff und aus Wasserstoff gewonnenen Produkten über Pipelines oder Schiffe spielen, um die Nachfrage in der lokalen Industrie und Schifffahrt sowie in den benachbarten Industrieregionen zu decken.

Fracht und Logistik über die Häfen spielen eine entscheidende Rolle in den Handelsströmen. In den Häfen umgeschlagene Waren machen 46 % des Wertes und 75 % des Volumens des Warenverkehrs zwischen der EU und dem Rest der Welt aus (ERA, 2022[1]). Hamburg beherbergt einen der vier größten Häfen in Europa. Die Transport- und Logistikaktivitäten in und um den Hafen spiegeln seine Bedeutung als wichtiges wirtschaftliches Zentrum wider. In Hamburg sind zahlreiche Industrie-, Groß- und Einzelhandelsunternehmen angesiedelt, auch im Bereich des elektronischen Handels, die auf den Hafen und seine Transport- und Logistikdienstleistungen angewiesen sind. Die Vorbereitung des Hamburger Hafens auf eine klimaneutrale internationale Schifffahrt ist daher von zentraler Bedeutung für die Hamburger Wirtschaft, genauso wie die Bereitstellung von dringend benötigter kohlenstofffreier Transportdienstleistungen für die Wirtschaft des Kontinents. Der erste Abschnitt dieses Kapitels ist diesem Thema gewidmet.

Die landseitigen Verkehrsverbindungen vom und zum Hafen sind von gleicher strategischer Bedeutung. Der enorme Frachtumschlag in Hamburg hat eine hochfrequente Versorgungskette im Hinterland gefördert. Der Einfluss Hamburgs und seines Hafens reicht über die Transportketten tief in dieses Hinterland hinein und prägt die wirtschaftliche Umweltleistung in der Region Hamburg, in Deutschland und in vielen Teilen Europas. Die großen Häfen in Europa bedienen oft ein sich überschneidendes Hinterland: Mit zunehmender Entfernung zwischen dem Hafen und dem Hinterland nimmt der Wettbewerb zwischen den Häfen und zwischen den Verkehrsträgern zu. Doch neben dem Seeverkehr ist auch der landgestützte Güterverkehr besonders schwer zu dekarbonisieren. Im zweiten Abschnitt werden daher die Auswirkungen des Hamburger Hinterlandtransports und der Logistik erörtert. Er bietet Einblicke in Maßnahmen, mit denen der Übergang zur Klimaneutralität unter bestmöglicher Nutzung der komparativen Vorteile Hamburgs erfolgreich bewältigt werden kann, während gleichzeitig die strategische Position Hamburgs als einer der wichtigsten Häfen Europas optimal genutzt wird.

Der Hafen ist eng mit der Herstellung von Grundstoffen verflochten, die ebenfalls besonders schwierig klimaneutral zu stellen sind. Dies gilt insbesondere für die Produktion von Grundmetallen und Ölraffinerien. Diese Sektoren sind stark von fossilen Brennstoffen abhängig, sowohl als Energieträger als auch als Rohstoffe. Sie benötigen oft hohe Temperaturen in den Produktionsprozessen, die sich nicht einfach elektrifizieren lassen. Die Dekarbonisierung der Schlüsselsektoren des verarbeitenden Gewerbes in Hamburg wird im dritten Abschnitt behandelt.

Wasserstoff und aus Wasserstoff gewonnene Produkte sind wichtig für den klimaneutralen Betrieb der internationalen Seeschifffahrt sowie für manche der verarbeitenden Industriezweige Hamburgs. Manche Produktionszweige könnten auch eine Kohlenstoffabscheidung und -speicherung (CCS) erfordern. Der Hamburger Hafen kann auch als Drehscheibe für die Bereitstellung von Wasserstoff, CCS und damit verbundenen Transportdienstleistungen dienen. Dies wird im vierten Abschnitt des Kapitels erörtert.

Die Auswirkungen der Dekarbonisierung des Seeverkehrs antizipieren

Der Hamburger Hafen hat bereits eine Strategie verabschiedet, um bis 2040 Klimaneutralität für Scope-1- und Scope-2-Emissionen im Hafenebetrieb zu erreichen. Dies umfasst alle Emissionen beim Frachtumschlag und Transport. Eine konsistente CO₂-Bilanz für den Hafen wird dazu dienen, dieses Verfahren zu überwachen und zu steuern (Behörde für Wirtschaft und Innovation, 2023[2]). Der erste Teil dieses Kapitels wird sich daher auf die Dekarbonisierung der internationalen Schifffahrt konzentrieren. Die Vorbereitung des Hamburger Hafens auf die großen Veränderungen, die dies mit sich bringen wird, ist für die Hamburger Wirtschaft von zentraler Bedeutung. In diesem Abschnitt werden Verkehrs- und makroökonomische Modelle für den Hamburger Hafen angewendet, um Erkenntnisse über die Auswirkungen in Bezug auf die emissionsfreie Kraftstoffversorgung und die Auswirkungen auf den Handel zu gewinnen (Halim et al., 2018[3]).

Im Juli 2023 hat die Internationale Seeschifffahrtsorganisation (IMO, Kasten 3.1) die überarbeitete IMO-Treibhausgasstrategie 2023 verabschiedet. Diese Strategie legt Ziele fest, um

1. bis etwa zum Jahr 2050 Netto-Null-Emissionen zu erreichen und
2. die Treibhausgasemissionen bis 2030 um mindestens 20 % zu reduzieren, wobei eine Reduzierung der Emissionen um 30 % angestrebt wird, sowie die Treibhausgasemissionen bis 2040 um 70 % im Vergleich zu 2008 zu reduzieren.

Gemäß der überarbeiteten IMO-Treibhausgasstrategie 2023 muss die globale Schifffahrt ihre Kohlenstoffintensität (CO₂-Emissionen pro Transportdienstleistung) bis 2030 um mindestens 40 % senken.

Kasten 3.1 Die Rolle der Internationalen Seeschifffahrtsorganisation bei der Dekarbonisierung des Seeverkehrs

Die Internationale Seeschifffahrtsorganisation (IMO) ist eine UN-Agentur mit 174 Mitgliedsländern. Sie ist ein zwischenstaatliches Beratungsgremium, das politische Maßnahmen zur Vermeidung und Verringerung von Umweltbelastungen sowie zur Verbesserung der Sicherheit im internationalen Seeverkehr verabschiedet. Die IMO hat ihr Ziel erklärt, sich am Übereinkommen von Paris von

2015 zu orientieren. Sie hat die „Strategie zur Reduzierung der Treibhausgasemissionen von Schiffen“ (*Strategy on reduction of GHG emissions from ships*) von 2018 im Jahr 2023 überarbeitet. Eine weitere Überarbeitung wird abgeschlossen sein, wenn der Ausschuss für den Schutz der Meeresumwelt (MEPC) der IMO im Herbst 2028 zusammentritt, um die IMO-Strategie 2028 zu verabschieden. Der MEPC kümmert sich um Umweltbelange wie das Management und die Verhinderung von Umweltverschmutzung durch Schiffe oder das Schiffsrecycling. Als technisches Gremium zur Erstellung, Überprüfung und Überarbeitung der IMO-Strategie schlägt die Intersessional Working Group on GHG Emissions (Zwischentreffen-Arbeitsgruppe zu Treibhausgasemissionen), kurz ISWG GHG, dem MEPC politische Maßnahmen vor.

Quelle: (IMO, 2023[4]).

Wirtschaftliche Maßnahmen zur Dekarbonisierung der internationalen Schifffahrt werden fortlaufend diskutiert. Um die vereinbarten Ziele zu erreichen, haben die IMO-Mitgliedsländer Körbe mit wirtschaftlichen und technischen Maßnahmen vorgeschlagen, die bis 2025 zu verabschieden sind. Diese Maßnahmen haben die größte Bandbreite, sowohl in Bezug auf die Anzahl der Staaten als auch auf die Bandbreite der Schiffstypen, die unter die Richtlinie der IMO fallen. In diesem Abschnitt wird die jüngste Vereinbarung der IMO als Ausgangspunkt für die Analyse herangezogen, ebenso wie der von der Europäischen Kommission (EK) vorgeschlagene Korb von Maßnahmen.

Für die meisten Unternehmen, die mit dem Handel von Waren mit Transport vom und zum Hafen zu tun haben, sind die Emissionen aus dem internationalen Schiffsverkehr Scope-3-Emissionen. Die Klimaneutralität für die internationale Schifffahrt bis 2050 kann daher mit dem HK-Klimaneutralitätsziel für 2040 in Einklang gebracht werden, vorausgesetzt, man ist nicht stark auf internationale Kompensationen angewiesen, um dieses Ziel zu erreichen. Unternehmen, die Schiffe in der internationalen Schifffahrt mit Hauptsitz in Hamburg betreiben, sollten jedoch ihre Schiffe bis 2040 auf weitgehend emissionsfreie Kraftstoffe umstellen.

Vorbereitung des Hafens auf kohlenstofffreie Kraftstoffe

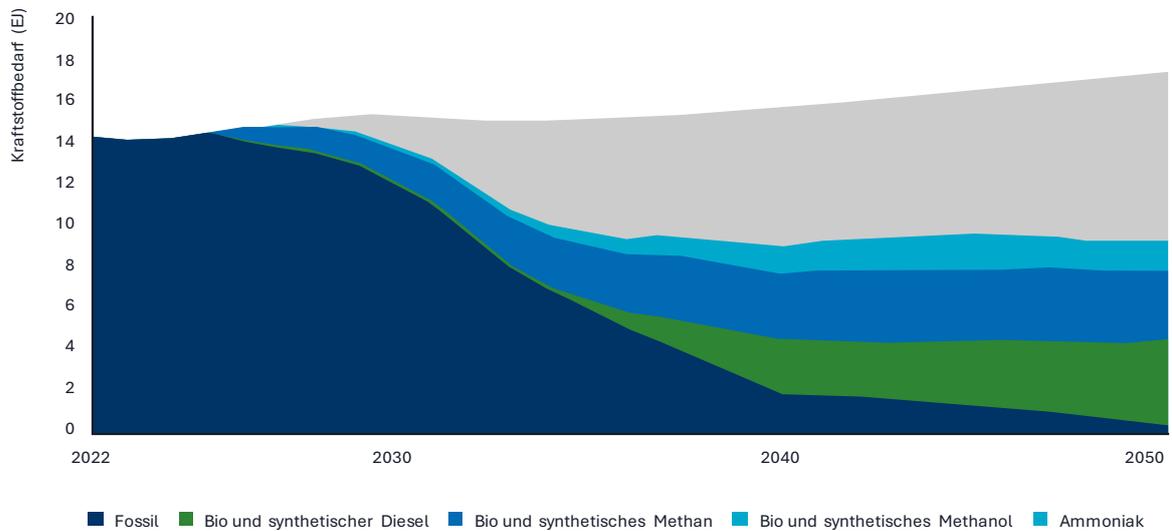
Die Verfügbarkeit und der Einsatz von emissionsfreien Kraftstoffen sind der Schlüssel zur Dekarbonisierung der internationalen Schifffahrt gemäß dem Zeitplan, den die überarbeitete IMO-Strategie vorgibt. Häfen könnten eine strategische Rolle als logistischer Knotenpunkt bei der Versorgung mit diesen Kraftstoffen spielen, indem sie als Bunkerstationen für Schiffe dienen.

Um die kostenminimierenden kohlenstofffreien Kraftstoffe zu schätzen, stützt sich dieser Abschnitt auf die Ergebnisse einer Modellierung, die mit dem NavigaTE-Modell (Mærsk Mc-Kinney Møller Center, 2021[5]) durchgeführt wurde. NavigaTe ist ein techno-ökonomisches Schifffahrtsmodell, das vom Mærsk Mc-Kinney Møller Center for Zero Carbon Shipping entwickelt wurde und in der Lage ist, die kosteneffizientesten Dekarbonisierungspfade zu bewerten, wobei die Kosten für die Einführung von unterschiedlichen Kraftstoffmaßnahmen umfassend berücksichtigt werden. Es erfasst die gesamte Energiewertschöpfungskette für den Antrieb des Seeschiffs, von den Rohstoffen und der Primärenergie, die für die Kraftstoffherstellung verwendet werden, bis hin zur Verbrennung des Kraftstoffs im Schiff. Eine Beschreibung dieses Modells findet sich im Anhang. Das Modell verwendet einen kostenminimierenden Ansatz, um den voraussichtlichen Einsatz verschiedener Kraftstoffarten im Einklang mit der IMO-Strategie für 2023 zu schätzen.

Unter der Annahme, dass die von der EU-Kommission vorgeschlagene Kohlenstoffabgabe, die die Preislücke zu den derzeitigen fossilen Kraftstoffen schließen soll, angenommen wird, wird die Nachfrage nach Ammoniak ab 2027 voraussichtlich steigen. Ab 2035 könnte Ammoniak der dominierende kohlenstofffreie Brennstoff sein. Es könnte die Dekarbonisierung des Sektors aufgrund seiner Kosteneffizienz, der höheren volumetrischen Energiedichte, der vereinfachten Produktion und der bereits gut entwickelten Infrastruktur im Vergleich zu bestehenden Alternativen vorantreiben (Hoang et al., 2022). Ammoniak ist bei der Verbrennung emissionsfrei und kann auch mit grünem Wasserstoff emissionsfrei hergestellt werden (Kasten 3.2).

Abbildung 3.1 Geschätzter Kraftstoffmix für die Dekarbonisierung der internationalen Schifffahrt

Schätzung auf der Grundlage der überarbeiteten IMO-Strategie für 2023 und der von der Europäischen Kommission vorgeschlagenen Maßnahmen



Anmerkung: Ammoniak umfasst blaues Ammoniak, das aus Erdgas mit Kohlenstoffabscheidung und -speicherung hergestellt wird, sowie grünes Ammoniak aus grünem Wasserstoff.

Quelle: (Equitable Maritime Consulting, 2023[6]).

StatLink 2 <https://stat.link/pqht0o>

Kasten 3.2 Ammoniak könnte der vielversprechendste emissionsfreie Schiffskraftstoff sein

Ammoniak ist ein kosteneffizienter kohlenstofffreier Bunkertreibstoff, der einfacher zu produzieren und in großen Mengen zu lagern ist als andere kohlenstofffreie Treibstoffe. „Grünes“ Ammoniak wird aus Wasserstoff hergestellt, der durch Hydrolyse von Wasser mit erneuerbarem Strom gewonnen wird. Forschungs- und Entwicklungsanstrengungen sind erforderlich, um die potenzielle Luftverschmutzung durch Stickoxide und Distickstoffmonoxid bei der Verbrennung von Ammoniak zu bekämpfen. Da Ammoniak für Menschen und Wasserlebewesen giftig ist, muss es sicher gelagert und verwaltet werden.

Grünes Methan und Methanol können ebenfalls emissionsfrei hergestellt und verwendet werden. Dazu wird Kohlenstoff benötigt, der auf zwei Arten emissionsfrei gewonnen werden kann (World Bank, 2021[7]):

- aus nachhaltigen Biokraftstoffen, bei der Biokraftstoffsynthese (Biomethan, Biomethanol),
- als synthetischer Kraftstoff durch Rückgewinnung von CO₂ aus der Kohlenstoffabscheidung und Kombination mit Wasserstoff bei der Hydrierung für die Alkoholsynthese (synthetisches Methan, synthetisches Methanol).

Ihr Vorteil ist, dass sie den herkömmlichen fossilen Kraftstoffen ähneln und daher nur relativ geringfügige Änderungen an den herkömmlichen fossilen Bunkern und Motoren erfordern. Allerdings ist die Herstellung von synthetischen Kraftstoffen energieintensiv. Auch die klimaneutrale Beschaffung von abgeschiedenem CO₂ kann ein Problem darstellen. Vor allem die Beschaffung aus CO₂-Emissionen in industriellen Prozessen wäre nicht vollständig klimaneutral. Die Beschaffung aus der direkten Luftabscheidung wäre zwar klimaneutral, würde aber den Energiebedarf erhöhen. Biokraftstoffe sollten auch nachhaltig beschafft werden, um sicherzustellen, dass ihre Verwendung emissionsfrei ist. Eine weitere Einschränkung ist der hohe Bedarf von Biokraftstoffen in mehreren Sektoren, um Klimaneutralität zu erreichen, sowie die konkurrierende Landnutzung für die Landwirtschaft oder den Schutz der biologischen Vielfalt.

Es wird erwartet, dass neben Ammoniak auch biologisches und synthetisches Methan und Methanol sowie fortschrittliche Biokraftstoffe einen gewissen Aufschwung erleben werden, um das Ziel einer 20–30-prozentigen Treibhausgasreduktion bis 2030 zu erreichen. Sicherheit ist ein weiterer wichtiger Aspekt von kohlenstofffreien Kraftstoffen (Kasten 3.3).

Kasten 3.3 Sicherheit von kohlenstofffreien Kraftstoffen: Die Rolle der Arbeitsgruppe für saubere Schiffskraftstoffe

Die Arbeitsgruppe für saubere Schiffskraftstoffe (Clean Marine Fuels Working Group, CMF) spielt eine entscheidende Rolle bei der Bereitstellung und Regulierung der Versorgung mit neuen Schiffskraftstoffen, indem sie Fachwissen und Leitlinien bereitstellt. Die CMF hat große Anstrengungen zur Sicherstellung der Bunkersicherheit und der Sicherheit des Systems im Allgemeinen unternommen. Zunächst wurde ein Bunkersicherheits-Toolkit für verflüssigtes Erdgas (LNG) eingeführt, das später angepasst wurde, um alle kohlenstoffarmen und kohlenstofffreien Kraftstoffe einzubeziehen. Hinsichtlich der Betriebssicherheit wurden 2022 umfassende Sicherheitschecklisten für das Bunkern von Flüssiggasen veröffentlicht, gefolgt von einer Checkliste für Methanol im Jahr 2023. In laufenden Untersuchungen werden Sicherheitsprotokolle für Ammoniak entwickelt. Hinsichtlich der Systemsicherheit ist die CMF derzeit dabei, das bestehende „Audit-Tool für Bunkeranlagenbetreiber“ und das Tool für Terminals „Bunker-Ready-Terminal-Tool“ in universell einsetzbare Tools umzuwandeln, die für alle bestehenden und neu entstehenden Schiffskraftstoffe geeignet sind.

Der Hafen kann Anreize für die freiwillige Emissionsreduzierung der Speditionen bieten

Häfen können auf freiwilliger Basis Anreize bieten, um Reedereien zu fördern und zu belohnen, die die gesetzlichen Emissionsstandards übertreffen. Um diese Anstrengungen zu erleichtern, hat die

International Association of Ports and Harbors (IAPH) den Environmental Ship Index (ESI) eingeführt, der die Umweltleistung hinsichtlich Luftschadstoffen, CO₂-Emissionen und Lärm quantifiziert. Dieser Index wurde von Häfen auf der ganzen Welt als Werkzeug übernommen, um Anreize für Schiffe zu schaffen, ihre Emissionen unter den IMO-Emissionsstandard zu senken. Derzeit umfasst die ESI-Datenbank etwa 7000 gewerbliche Schiffe und mehr als 60 Organisationen, die hauptsächlich aus Hafenbehörden bestehen. Die Handelskammer Hamburg könnte Schiffsbetreiber dazu ermutigen, den Environmental Ship Index (ESI) zu nutzen. Zudem bietet es sich an, die Emissionsreduktion zu monitoren, die mit dem Klimaneutralitätsziel 2040 einhergeht.

Maßnahmen, die von den Häfen ergriffen werden, um die Ankunft und das Anlegen von Schiffen zu planen (Optimierung von Hafenanläufen), führt zu einer Reduzierung der Treibhausgasemissionen durch einen geringeren Energieverbrauch. Eine wirksame Zusammenarbeit ist von entscheidender Bedeutung. Zu diesem Zweck zielt die Internationale Taskforce zur Optimierung von Hafenanläufen ITPCO (International Taskforce on Port Call Optimization) darauf ab, die Zusammenarbeit zwischen den relevanten Akteuren (internationale Schifffahrt, Häfen, Terminals und Frachteeigentümer) dank des rechtzeitigen Austauschs hochwertiger Daten und der Standardisierung zu optimieren.

Bei der Einrichtung grüner Schifffahrtskorridore geht es darum, bestimmte Handelsrouten zwischen wichtigen Drehkreuzen zu identifizieren, die emissionsfreie Lösungen unterstützen. Diese Initiative basiert auf einer freiwilligen Zusammenarbeit zwischen Häfen, Schifffahrtsunternehmen und anderen Akteuren. Die erfolgreiche Umsetzung erfordert die Beteiligung von Häfen in Entwicklungsländern. Die Plattform Clean Energy Marine Hubs (CEM-Hubs), eine sektorübergreifende öffentlich-private Initiative, an der Energie-, Hafen-, Finanz- und Schifffahrtssektoren beteiligt sind, zielt darauf ab, die Produktion und den Seetransport von kohlenstoffarmen Kraftstoffen zu beschleunigen, einschließlich solcher, die direkt für die Schifffahrt verwendet werden.

Modellierung der Kostenauswirkungen potenzieller Dekarbonisierungsmaßnahmen

In diesem Unterabschnitt werden der Szenarioentwurf und die Modellierungsmethode erörtert, die verwendet wurden, um die wirtschaftlichen Auswirkungen der Maßnahmen zu bewerten, die die Europäische Kommission vorgeschlagen hat, um die Ziele der IMO für Emissionsreduzierung und Klimaneutralität im Jahr 2023 zu erreichen. Die bewerteten Auswirkungen umfassen die Handelskosten und den Wert der Handelsströme in Hamburg. Dazu gehören ein Globaler Kraftstoffstandard (GFS) und eine Kohlenstoffabgabe für Schiffe mit einer Kapazität von über 5.000 Gigatonnen (GT).

In dem vorgeschlagenen Globalen Kraftstoffstandard GFS werden die Emissionen „Well-to-Wake“ (WTW) in der gesamten Wertschöpfungskette bewertet. WTW bezieht sich auf die Emissionen im gesamten Verfahren der Kraftstoffherstellung, -lieferung und -nutzung auf Schiffen, beinhaltet somit Scope 1, 2 und 3 Emissionen beim Kraftstoffverbrauch. Die Kohlenstoffintensität von Schiffstreibstoff wird bis 2030 um 16 % gesenkt. Nach dem Vorschlag der EU-Kommission wird die Treibhausgasreduzierung durch das GFS bis 2040 auf 80 % und bis 2050 auf 95 % angehoben. Darüber hinaus wird bis 2030 eine Kohlenstoffsteuer in Höhe von 150 USD pro Tonne erhoben, die bis 2050 auf 200 USD erhöht werden soll.

Szenarioentwurf

Die ökonomischen Auswirkungen dieser Maßnahmen werden in einem Szenario mit Richtlinien und den vorgeschlagenen Maßnahmen gegenüber einem Business-As-Usual-(BAU-)Szenario (Klimaschutzmaßnahmen im internationalen Seeverkehr nur bis zu den von der IMO im Jahr 2021 eingeführten

Maßnahmen) verglichen. Sowohl das Szenario mit Richtlinien und Maßnahmen als auch das Basisszenario gehen davon aus, dass globale Klimaschutzmaßnahmen die globale Erwärmung auf 2 Grad begrenzen werden (Kasten 3.2).

Kasten 3.4 Das Business-As-Usual-(BAU-)Szenario

Das Business-As-Usual-(BAU-)Szenario wendet den Shared Socio-Economic Pathway (SSP) 2 und den Representative Concentration Pathway (RCP) 2.6 an, um die globale sozioökonomische Entwicklung und die von den Ländern weltweit erwarteten Klimamaßnahmen widerzuspiegeln. SSP sind Pfade, die beschreiben, wie sich die globale Gesellschaft, die Demografie und die wirtschaftlichen Entwicklungen im nächsten Jahrhundert verändern könnten, und die als Hintergrund für die Modellierung von Klimaschutzmaßnahmen dienen. In der SSP2 werden die Trends im Großen und Ganzen die historischen Muster fortsetzen. RCPs beziehen sich auf die atmosphärischen Treibhausgaskonzentrationen und andere Kräfte, die auf das Klima einwirken und sich aus Klimaschutzmaßnahmen ergeben. RCP 2.6 ist mit einer globalen Erwärmung von 2 Grad vereinbar. Die wirtschaftlichen Projektionen stützen sich auf die DG-ECFIN für die Europäische Union, während die langfristigen Projektionen des IWF und der OECD den Ausblick für die Volkswirtschaften der Nicht-EU-Länder bestimmen.

Darüber hinaus berücksichtigt das BAU-Szenario die kurzfristigen Maßnahmen der Internationalen Seeschiffahrtsorganisation (IMO) im Jahr 2021 – unter anderem auch den Energy Efficiency Design Index (EEDI), den Energy Efficiency Existing Ship Index (EEXI) und den Carbon Intensity Indicator (CII) – um die Kohlenstoffintensität der Schifffahrt zu verringern (IMO, 2021).

Der EEDI misst die Energieeffizienz der Schiffskonstruktionen, wobei niedrigere EEDI-Werte auf eine höhere Effizienz der Schiffe hinweisen. Dieser Index wurde 2013 eingeführt und gilt für neue Schiffe. EEXI gilt für Emissionen der Schiffe während des Betriebs. Diese beiden Indizes verpflichten die Schiffseigner zur Einhaltung bestimmter, von der IMO festgelegter Standards. Der CII quantifiziert den CO₂-Ausstoß von Schiffen während des Transports auf Jahresbasis. Dies wird in Gramm CO₂-Emissionen pro Frachtkapazität und Seemeile angegeben. Die IMO hat ein Bewertungssystem eingeführt, das von A bis E reicht und bis 2030 immer strenger wird. Schiffe, die in drei aufeinanderfolgenden Jahren mit D bewertet werden, müssen einen Plan mit Abhilfemaßnahmen umsetzen.

Methodik

Angesichts der starken Interdependenzen zwischen Verkehrs- und Handelssystemen werden sich die GFS und die Kohlenstoffsteuer direkt und indirekt auf die Transportkosten auswirken (Halim, Smith and Englert, 2019[8]).

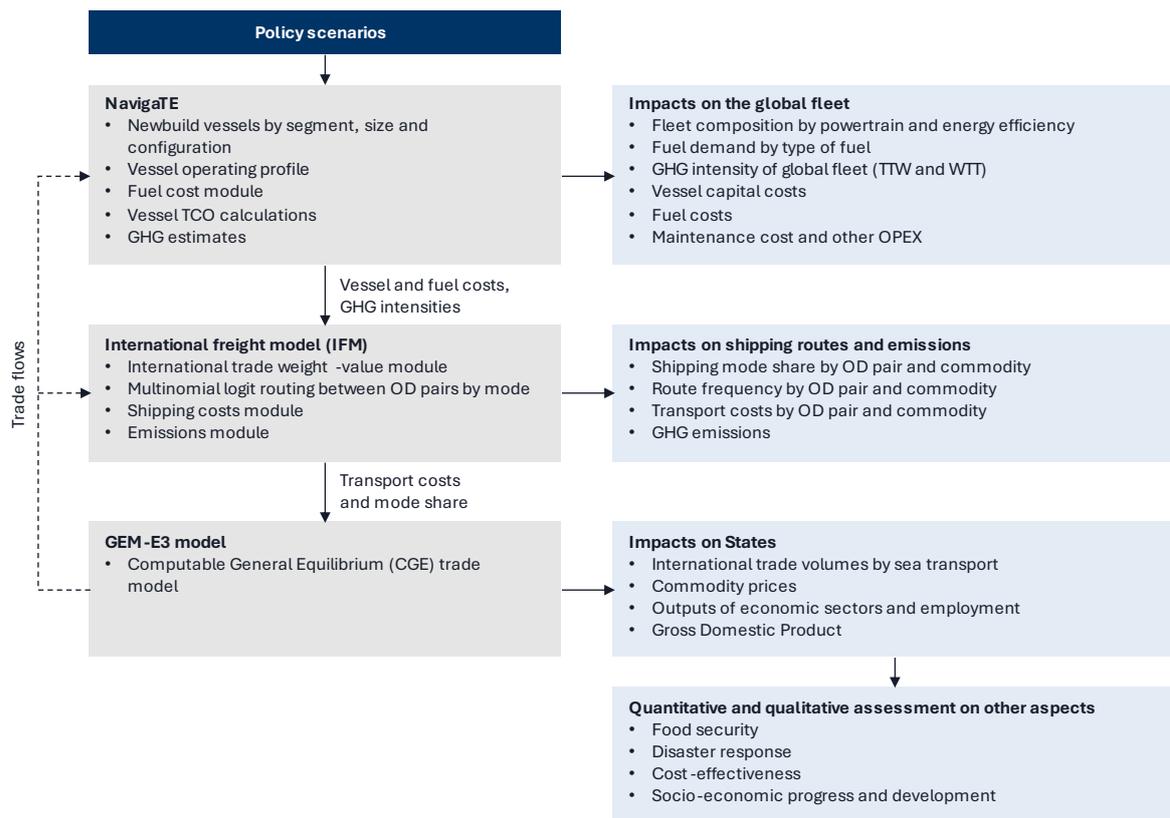
Erstens werden sich direkte Auswirkungen auf die Betriebskosten der Schiffe aufgrund der Treibstoff- und Kapitalkosten sowie zweitens aufgrund der Kohlenstoffabgabe auf die verbleibenden Emissionen ergeben. Dies wird die Transportkosten erhöhen. Der Anstieg dieser Kosten wirkt sich auf den Welthandel aus. Die Transportkosten wiederum reagieren empfindlich auf die Veränderung des Handelsvolumens, da die Transportstückkosten auf den Verlust oder den Gewinn von Skaleneffekten in der Schifffahrt reagieren könnten. Skaleneffekte können handelskostenbedingte Verschiebungen in den Handelsströmen verstärken.

Um die wirtschaftlichen Auswirkungen auf den Handel über Hamburg zu bewerten, liegt der Schwerpunkt dieser Studie auf den folgenden Indikatoren:

1. Veränderung der Transportkosten nach Waren für Importe und Exporte (gemessen als prozentuale Veränderung), basierend auf einem Vergleich zwischen BAU und dem Szenario mit Richtlinien und Maßnahmen
2. Veränderung der Handelswerte nach Waren für Importe und Exporte (gemessen in USD und prozentualer Veränderung) auf der Grundlage eines Vergleichs zwischen BAU und dem Szenario mit Richtlinien und Maßnahmen
3. Veränderung der Handelswerte für die 20 wichtigsten Import-/Exportländer (gemessen als prozentuale Veränderung).

Um diese Auswirkungen zu bewerten, wird die Analyse unter Verwendung der Ergebnisse von NavigaTE durchgeführt, wie oben und im Anhang beschrieben. Der Ansatz verwendet auch das internationale Frachtmodell (IFM) von Equitable Maritime Consulting (EMC), um kostenminimierende Entscheidungen im internationalen Frachtverkehr zu modellieren, einschließlich der Wahl des Verkehrsträgers, wobei die Qualität der Infrastruktur und der Schifffahrtssdienste auf einer detaillierten Netzwerkebene berücksichtigt wird (Halim et al., 2018[3]). Diese Analyse wird durch die Ergebnisse des GEM-E3-Modells ergänzt, eines globalen berechenbaren allgemeinen Gleichgewichtsmodells, das zur Projektion des weltweiten Warenhandels unter verschiedenen Szenarien entwickelt wurde (E3modelling). Der Modellierungsansatz folgt drei Schritten, die in Abbildung 3.2 dargestellt sind. Eine Beschreibung der 3 Modelle und des dreistufigen Modellierungsansatzes findet sich im Anhang. Diese Analyse wird durch die Ergebnisse des GEM-E3-Modells ergänzt, eines globalen berechenbaren allgemeinen Gleichgewichtsmodells, das zur Vorhersage des weltweiten Warenhandelsvolumens unter verschiedenen Szenarien entwickelt wurde (E3modelling). Eine detaillierte Erläuterung dieser drei Modelle findet sich im Anhang und in den zitierten Quellen. Der Modellierungsansatz folgt drei Schritten, die in Abbildung 3.2 dargestellt sind. Eine Beschreibung der 3 Modelle und des dreistufigen Modellierungsansatzes findet sich im Anhang.

Abbildung 3.2 Methodik-Diagramm



Die Auswirkungen potenzieller mittel- und langfristiger Dekarbonisierungsmaßnahmen: Ergebnisse der Modellierung

Auswirkungen auf die Import- und Exportkosten nach Warenart

Die von der EU-Kommission vorgeschlagenen Maßnahmen zur Verringerung der Treibhausgasemissionen könnten durch höhere Treibstoffpreise und höhere Kapitalkosten zu höheren Schiffsbetriebskosten führen. Nutzer und Hersteller von emissionsfreien Kraftstoffen investieren in neue Technologien und Schiffe, einschließlich fortschrittlicher Antriebssysteme. Auf der Grundlage der mit NavigaTE durchgeführten Bewertung, werden die Schiffsbetriebskosten in den Jahren 2030, 2040 und 2050 schätzungsweise um bis zu 20,37 %, 17,78 % bzw. 4,13 % im Vergleich zum Business-As-Usual-(BAU-)Szenario steigen.

Die Schätzungen mit dem NavigaTE-Modell deuten darauf hin, dass der daraus resultierende Anstieg der Treibstoffkosten aufgrund der Einführung teurerer, sauberer Kraftstoffe deutlich höher ist als die Kapitalkosten der Schiffe. Dieser Anstieg variiert jedoch je nach Schiffstyp, Route und Ware (Halim, Smith and Englert, 2019[8]). Dennoch werden die Maßnahmen um das Jahr 2030 zu einem erheblichen Anstieg der Investitionsausgaben der Unternehmen führen, da die Schiffe nachgerüstet werden und Schiffe mit kohlenstofffreien Kraftstoffen angeschafft werden.

Während die Treibstoffkosten anfangs erheblich steigen könnten, dürften sie mit der angenommenen Verbesserung der Produktivität der kohlenstofffreien Treibstoffproduktion allmählich sinken. Gleichzeitig senken niedrigere Emissionen die Kosten aufgrund der Kohlenstoffsteuer. Verbesserungen der Energieeffizienz infolge von Regulierungen und technologischem Fortschritt, z. B. bei der Form der Schiffsrümpfe oder bei Antriebssystemen, können die Kosten ebenfalls senken. Ob sich diese günstige langfristige Kostenannahme bewahrheitet, hängt jedoch von vielen ungewissen Faktoren ab, u. a. von der

weltweiten Verfügbarkeit erneuerbarer Energien und von grünem Wasserstoff, von der Entwicklung der Energie- und Wasserstoffnachfrage sowie von der Wahl eines kostenminimierenden Brennstoffmixes unter Berücksichtigung der erforderlichen Energiezufuhr.

Tabelle 3.1 zeigt die durchschnittliche Auswirkung auf die Importtransportkosten aller Waren im Laufe der Zeit. Bis 2050 könnte der Anstieg der Importtransportkosten bei allen Rohstoffen relativ gering sein. Die Veränderungen bei den drei wichtigsten Waren nach Importwert für Hamburg sind in Abbildung 3.3 angezeigt, wobei die Auswirkungen im Großen und Ganzen ähnlich sind. Bei einem breiteren Spektrum von Warenarten (Anhang Abbildung 3.A.1) werden die Importkosten im Jahr 2030 schätzungsweise um 20 % bis 32 % steigen. Die höchsten Kosten betreffen Rohstoffe, die meistens aus Entwicklungsländern importiert werden.

Tabelle 3.1 Durchschnittlicher Anstieg der Importtransportkosten für alle Rohstoffe in Hamburg

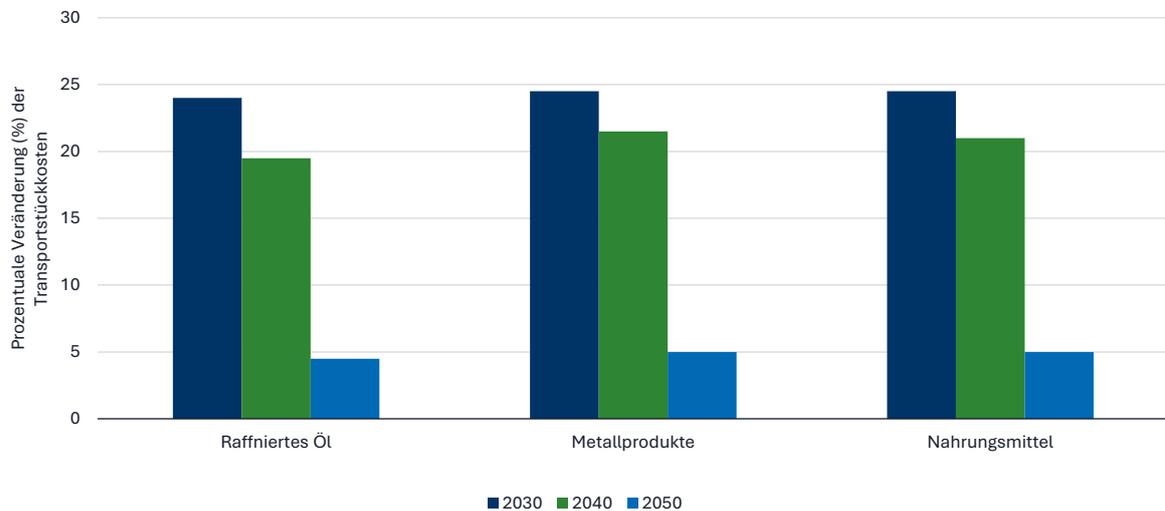
Auswirkungen der vorgeschlagenen IMO-Maßnahmen im Vergleich zum Business-As-Usual-Szenario

	2030	2040	2050
Durchschnittlicher Anstieg (%)	25,3	21,6	4,9

Quelle: (Equitable Maritime Consulting, 2023[6]).

Abbildung 3.3 Projizierter Abstieg der Transportkosten für die 3 wichtigsten importierten Waren in Hamburg

Prozentuale Veränderung der Importtransportkosten (USD/Tonnenkilometer) im Vergleich zum Business-As-Usual-Szenario



Anmerkung: Schätzung auf der Grundlage der überarbeiteten IMO-Strategie für 2023 und der von der Europäischen Kommission vorgeschlagenen Maßnahmen

Quelle: (Equitable Maritime Consulting, 2023[6]).

Ein ähnliches Muster zeigt sich im Laufe der Zeit bei den Exporttransportkosten pro Einheit (Tabelle 3.2). Bei den 3 wichtigsten Exportgütern für Hamburg sind die Steigerungen der Transportstückkosten bei der

Ausfuhr von Metallerzeugnissen und Nahrungsmitteln größer als bei Transportmitteln (Abbildung 3.4). Sie können auch etwas größer sein als bei den Importstückkosten.

Tabelle 3.2 Projizierter durchschnittlicher Anstieg der Transportkosten pro Einheit für alle exportierten Waren in Hamburg

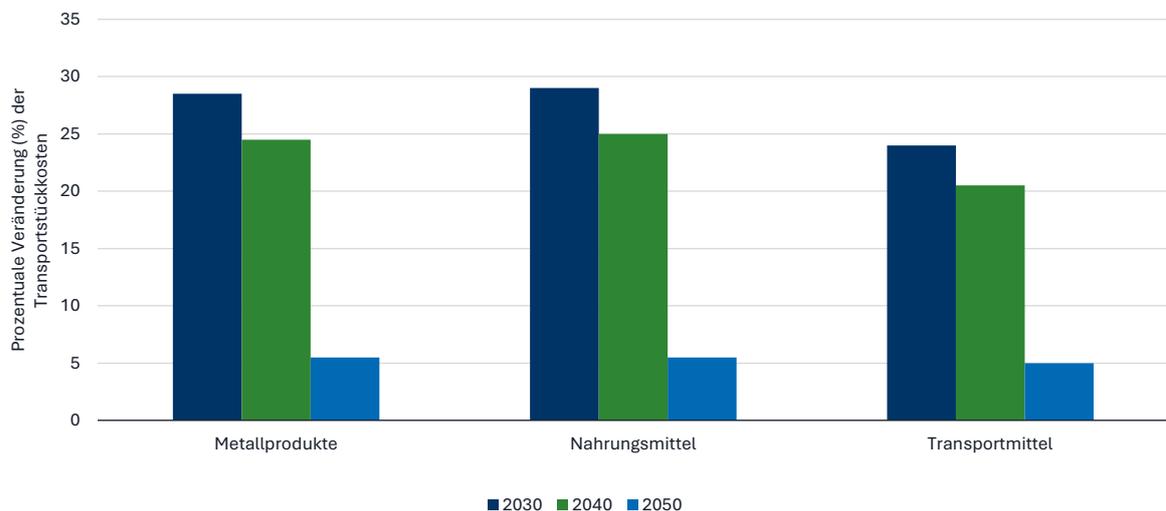
Auswirkungen der vorgeschlagenen IMO-Maßnahmen im Vergleich zum Business-As-Usual-Szenario

	Anstieg im Jahr 2030	Anstieg im Jahr 2040	Anstieg im Jahr 2050
Durchschnittlicher Anstieg (%)	28,5	24,5	5,5

Quelle: (Equitable Maritime Consulting, 2023[6]).

Abbildung 3.4 Projizierter Anstieg der Transportkosten für die 3 wichtigsten exportierten Waren in Hamburg

Prozentuale Veränderung der Exporttransportkosten (USD/Tonnenkilometer) im Vergleich zum Business-As-Usual-Szenario



Quelle: (Equitable Maritime Consulting, 2023[6]).

StatLink 2 <https://stat.link/rkc25m>

Auswirkungen auf Importe und Exporte nach Warenart

Höhere Transportkosten könnten die Handelsströme verringern, z. B. als Folge von Produktionsverlagerungen von Unternehmen. Die projizierten Auswirkungen auf die Hamburger Handelsströme sind gering (Tabelle 3.3 und Tabelle 3.4). Mit seiner Vielfalt an Handelspartnern hat Hamburg mehr Potenzial für eine solche Substitution und kann sich besser an wandelnde Rahmenbedingungen anpassen als andere Häfen. Der Hafen dient nämlich als wichtiger Knotenpunkt im maritimen Netzwerk, welches diese Flexibilität erhöht.

Tabelle 3.3 Projizierter Gesamtimportwert Hamburgs

In Milliarden USD

Importwert	Basislinie	Szenario mit Richtlinien und Maßnahmen	Differenz (%)
2030	63,4	62,8	-0,9
2040	67,4	66,9	-0,7
2050	71,7	71,6	-0,2

Quelle: (Equitable Maritime Consulting, 2023[6]).

Tabelle 3.4 Projizierter Gesamtexportwert Hamburgs

In Milliarden USD

Exportwert	Basislinie	Szenario mit Richtlinien und Maßnahmen	Veränderung (%)
2030	54,9	54	-1,7
2040	59,6	58,8	-1,4
2050	66	65,7	-0,4

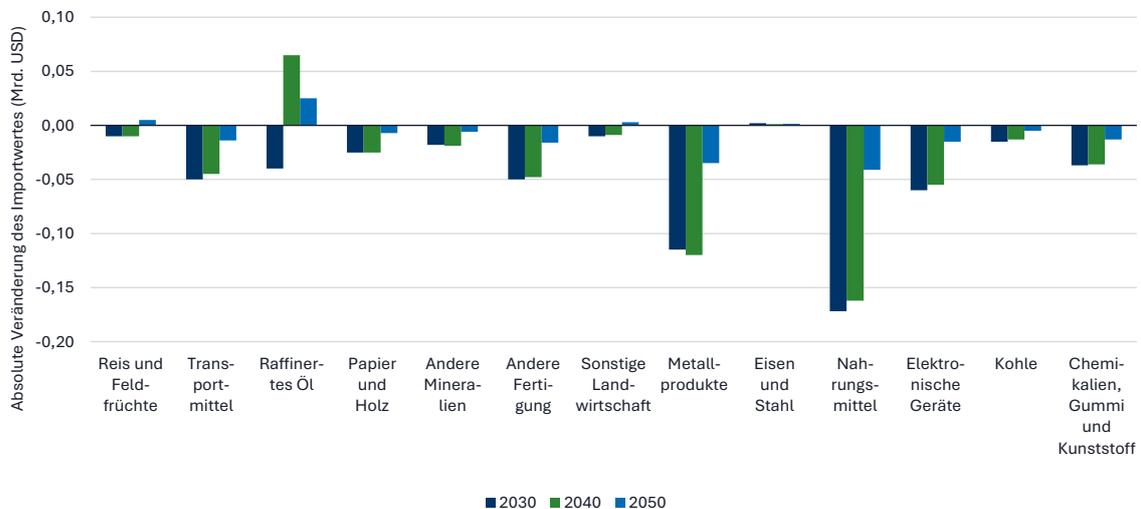
Quelle: (Equitable Maritime Consulting, 2023[6]).

<https://stat.link/4fc0he>

Bei Nahrungsmitteln ist der Rückgang der absoluten Import- und Exportwerte möglicherweise am stärksten (Abbildung 3.5 und Abbildung 3.6). Die Zahlen im Anhang zeigen die prozentuale Veränderung der Import- und Exportwerte nach Warenart.

Abbildung 3.5 Projizierte Auswirkungen auf den Importwert der einzelnen Waren in Hamburg

Absolute Veränderung der Importe (in Mrd. USD) im Vergleich zu „Business As Usual“

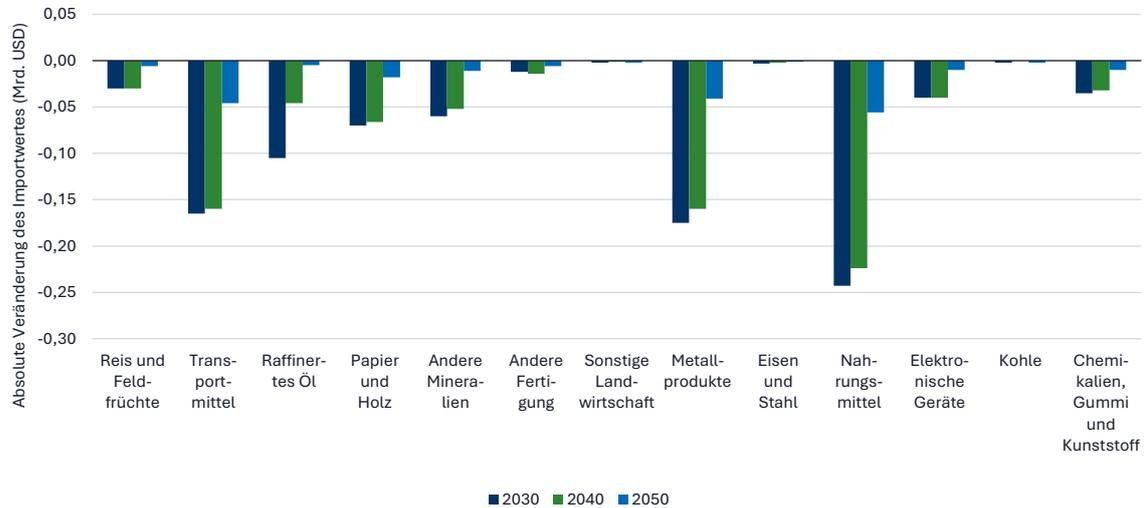


Quelle: (Equitable Maritime Consulting, 2023[6]).

StatLink 2 <https://stat.link/v2gah0>

Abbildung 3.6 Projizierte Veränderung auf den Exportwert jeder Warenart

Absolute Veränderung bei den Exportwerten (im Milliarden USD) im Vergleich zum Business-As-Usual-Szenario



Quelle: (Equitable Maritime Consulting, 2023[6]).

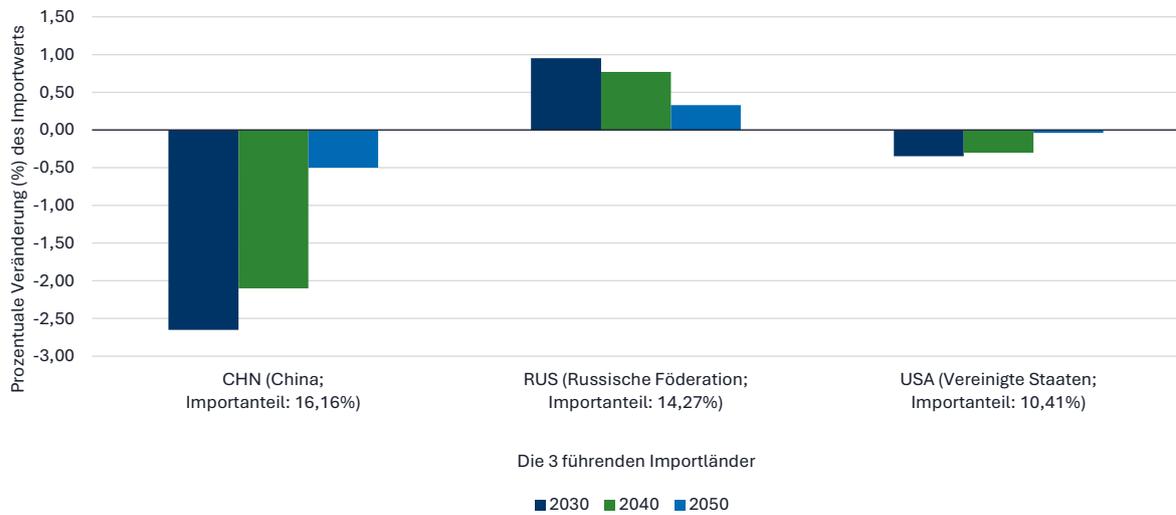
StatLink 2 <https://stat.link/64jrtb>

Auswirkungen auf den Import- und Exportwert nach Land

Abbildung 3.7 zeigt die projizierten Unterschiede für die drei wichtigsten Hamburger Handelspartnerländer in Bezug auf die Importwerte, zusammen mit ihren jeweiligen Anteilen am gesamten Importwert im Basisjahr (2022). Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass China vermutlich einen starken Rückgang erfahren könnte. Abbildung 3 im Anhang zeigt die Auswirkungen für die 22 Länder, aus denen Hamburg durchweg die höchsten Werte an Waren importiert.

Abbildung 3.7 Projizierte Veränderungen auf die Importe nach Hamburg aus den 3 wichtigsten Handelsländern

Prozentuale Veränderungen der Importe aus den Top-3-Ländern im Vergleich zum Business As Usual-Szenario



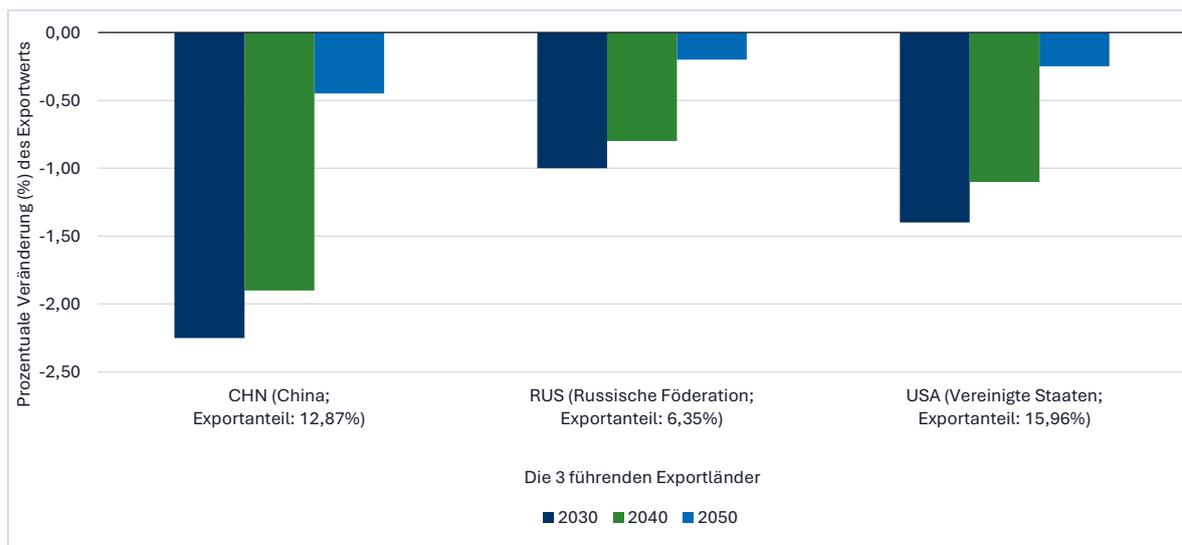
Quelle: (Equitable Maritime Consulting, 2023[6])

StatLink 2 <https://stat.link/nm7tl4>

Abbildung 3.8 zeigt die Veränderungen des Exportwertes für die drei wichtigsten Länder im Basisjahr an. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass alle von ihnen einen Rückgang erfahren, insbesondere China. Abbildung 4 im Anhang zeigt die Analyse für die 20 wichtigsten Länder.

Abbildung 3.8 Projizierte Veränderungen auf die Ausfuhren aus Hamburg in die 3 wichtigsten Handelsländer

Prozentuale Veränderung der Exporte Hamburgs in die Top-3-Länder im Vergleich zum Business As Usual-Szenario



Quelle: (Equitable Maritime Consulting, 2023[6]).

StatLink 2 <https://stat.link/84qmu2>

Wichtige Maßnahmen

Sofortmaßnahmen

- Die Handelskammer Hamburg könnte gemeinsam mit der Hafenbehörde, wichtigen Schiffsbetreibern in Hamburg sowie Forschern und in Koordinierung mit anderen großen Häfen die Fortschritte beim Einsatz von emissionsfreien Kraftstoffen und Schiffen bewerten, um Kraftstoffe zu fördern, die in Bezug auf systemweit niedrige Kosten und Widerstandsfähigkeit am besten geeignet sind.
- Die Handelskammer Hamburg könnte Schiffsbetreiber dazu ermutigen, den Environmental Ship Index (ESI) zu nutzen. Sie könnte Anreize für die freiwillige Emissionsreduzierung von Schiffsbetreibern schaffen, indem sie Unternehmen belohnt, die die gesetzlichen Emissionsstandards übertreffen.
- Alle neuen Schiffe sollten mit emissionsfreien Kraftstoffen betrieben werden oder betrieben werden können, wobei idealerweise ein langfristiger, systemweiter kostengünstiger Kraftstoffmix angestrebt werden sollte.

Bis 2030

- Schifffahrtsunternehmen könnten verstärkt kohlenstofffreie Stoffe wie Ammoniak verwenden. Die Gewährleistung von Sicherheit bei Produktion, Transport und Lieferung von kohlenstofffreiem Treibstoff ist der Schlüssel zu diesem Ziel.
- Der Hamburger Hafen könnte mit anderen großen Häfen und Schifffahrtsunternehmen zusammenarbeiten, um grüne Schifffahrtskorridore einzurichten, um spezifische Handelsrouten zwischen wichtigen Drehkreuzen zu identifizieren, die emissionsfreie Lösungen unterstützen.
- Die Handelskammer Hamburg könnte weiterhin die Auswirkungen von Transportkosten auf die Handelsströme durch Hamburg untersuchen.

Bis 2040

- Die Ersetzung fossiler Brennstoffe durch emissionsfreie Kraftstoffe in der internationalen Seeschifffahrt weitgehend abschließen.

Klimaneutralität in der Transportlogistik und im Transport vom und zum Hafen

Hamburg ist der größte Eisenbahnhafen und der verkehrsreichste Knotenpunkt für den Straßengüterverkehr in Europa sowie der drittgrößte Binnenschifffahrtshafen in Deutschland. Jeder siebte Schienengütertransport in Deutschland beginnt oder endet in Hamburg. 15 % des deutschen Schienengüterverkehrs werden hier abgewickelt. Etwa 200 Güterzüge nutzen den Hafen täglich. Hamburg ist der größte Containerumschlagplatz auf der Schiene in Europa. Drei der neun wichtigsten europäischen Straßengüterverkehrsrouten – die TEN-T-Korridore, auf die 80 % des Straßengüterverkehrs in der EU entfallen – kreuzen sich in Hamburg, dem bei weitem verkehrsreichsten Knotenpunkt, wobei allein auf der Strecke Hamburg-Berlin jährlich über 9 Mio. Tonnen transportiert werden (Abbildung 3.9). Hamburg ist eine der

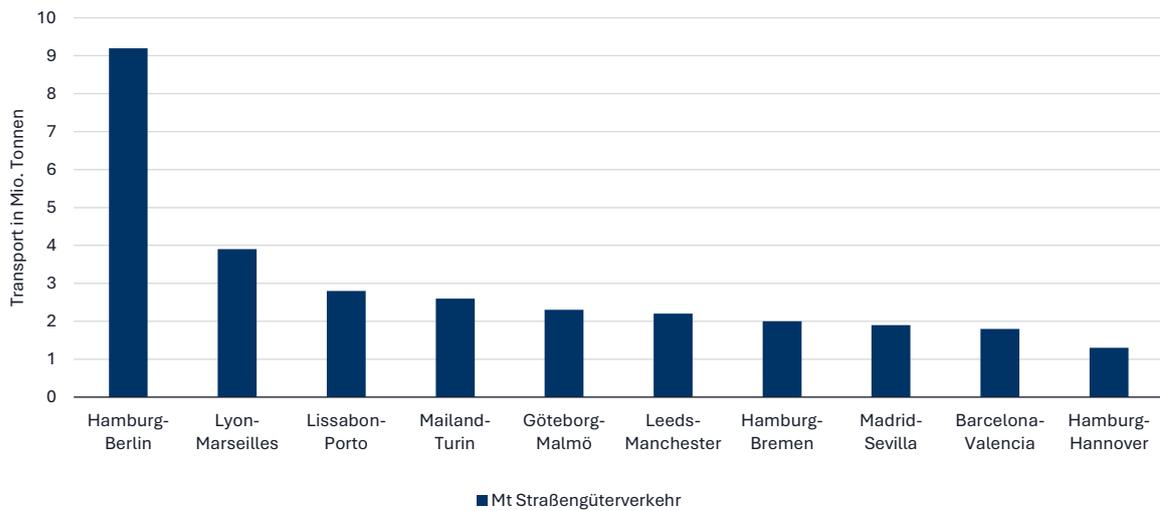
größten Laderegionen für den Straßengüterverkehr in Europa (OECD, 2021), mit 40.000 Lkw, die täglich in den Hafen fahren. Der Hafen ist gut an das paneuropäische Kanal- und Flussnetz angebunden und wird jährlich von 11.000 Binnenschiffen angelaufen, die im Wesentlichen nach Berlin, Hannover und in die Tschechische Republik fahren.

Etwas mehr als die Hälfte der Container wurde auf der Schiene transportiert (50,5 %), 47,3 % auf der Straße und 2,2 % auf dem Binnenschiff. Etwa 53,9 % der Frachttonnage wurden auf der Schiene, 37,6 % auf der Straße und 8,5 % in der Binnenschifffahrt befördert (Port of Hamburg Marketing, 2023[9]). In anderen großen Häfen reicht der Anteil der Schiene von 7 % (Le Havre und Antwerpen) bis 11 % (Rotterdam; <https://stat.link/e41jbo>). Nur zwei kleinere Häfen erreichen einen höheren Anteil. Die Binnenschifffahrt deckt 9 % des Hinterlandfrachtverkehrs (hauptsächlich Massengut) und 2 % des Containertransports aus Hamburg heraus ab, während in den Häfen von Rotterdam oder Antwerpen die Binnenschifffahrt die Hälfte der Frachttonnage und 40 % des Containertransports ausmacht.

Der Hamburger Hafen sticht unter den europäischen Häfen durch den hohen Anteil der Schiene am Hinterlandtransport hervor, der sich in den letzten 20 Jahren fast verdoppelt hat, und zwar weitgehend auf Kosten der Straße. Vier Hauptfaktoren haben zu diesem Anstieg beigetragen:

- Hamburg konnte seine Position als Gateway für den Fernhandel dank guter Bahnverbindungen (2000 Angebote täglich aus dem Hafen heraus) und eines Hinterlandnetzes, das durch Abschnitte mit dritten Gleisen und Abstellgleisen für längere Züge eine große Anzahl von Zügen bewältigen konnte, ausbauen.
- Ein umfangreiches Schienennetz innerhalb des Hafens verschafft der Bahn einen Vorsprung ab dem Zeitpunkt der Entladung. Häfen mit einem hohen Bahnanteil im Hinterlandtransport, wie Göteborg, Triest und Koper, haben diese Eigenschaft gemeinsam. Mehr als die Hälfte der Schienenstrecke der Hamburger Hafenbehörde ist elektrifiziert, ein höherer Anteil als bei anderen großen Häfen in Europa (z. B. Antwerpen und Rotterdam).
- Es wurden große Investitionen getätigt, um infrastrukturelle Engpässe im und durch den Hafen zu beseitigen, wie zum Beispiel die Kattwykbrücke, eine der größten Eisenbahnbrücken der Welt.
- Die Governance-Struktur des Hafens und ein hohes Maß an vertikaler Integration haben die Wahl des Schienenverkehrs begünstigt, z. B. durch die Öffnung der Strecken der Hamburger Hafenbehörde für alle 57 Bahnbetreiber.

Abbildung 3.9 Straßengüterverkehr auf den wichtigsten Ten-T-Korridoren (2020)



Quelle: (T&E, 2021[10]).

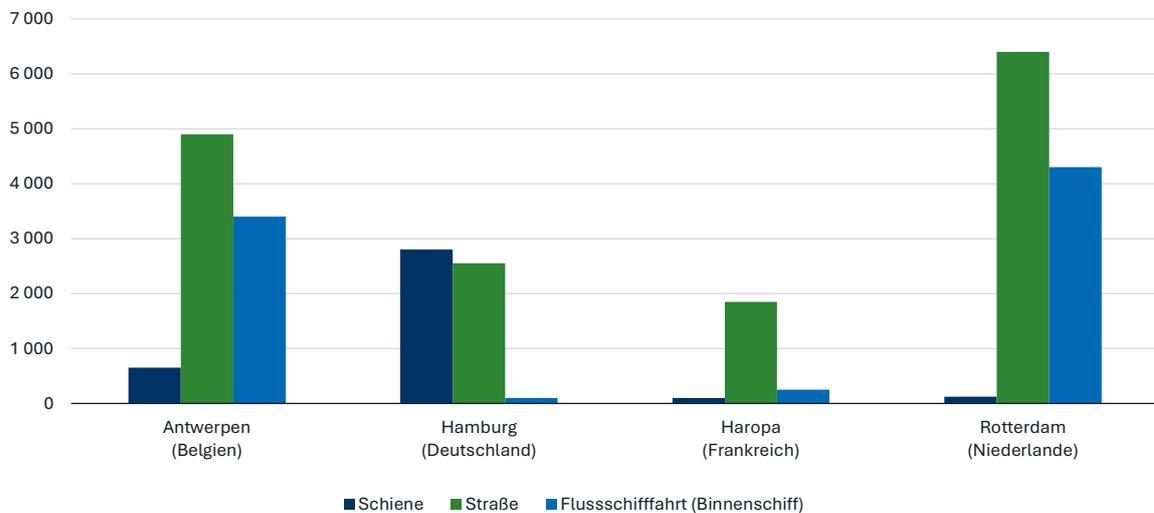
StatLink 2 <https://stat.link/e41jbo>

Der hohe Anteil der Schiene am Hinterlandtransport verschafft Hamburg eine günstige Ausgangsposition, um auf Klimaneutralität hinzuarbeiten, da ein Großteil des Güterverkehrs bereits emissionsfrei ist. Dieser Anteil konzentriert sich auf den Langstreckenverkehr (bis zu 80 % der Langstreckenfracht werden auf der Schiene transportiert), sodass ein Großteil des Straßentransports auf kürzeren Strecken stattfindet, ein Segment, das sich besser für die Elektrifizierung eignet.

Hamburg ist auch ein wichtiger Logistiknotenpunkt, der Kurz-, Mittel- und Langstreckentransporte mit Lager- und Speicherdienstleistungen kombiniert. Die Logistikbranche nimmt einen bedeutenden Teil der Hamburger Gewerbeimmobilien ein und beansprucht ein Drittel der gesamten Lager- und Speicherfläche. Die städtische Frachtlogistik ist ein wachsendes Segment der Logistikbranche, das durch die hohe Bevölkerungs- und Wertschöpfungsdichte in Hamburg begünstigt wird. Im Jahr 2019 lag die durchschnittliche Anzahl der Kurier-, Express- und Paketsendungen pro Einwohner in Hamburg um ein Drittel über dem Bundesdurchschnitt, wobei der damit verbundene Verkehr bereits etwa 10 % des innerstädtischen Verkehrs ausmacht.

Abbildung 3.10 Hinterlandtransport von Containern aus europäischen Häfen nach Verkehrsträgeranteil

1000 TEU-Container (20-Fuß-Container), 2022 oder das letzte verfügbare Datum



Quelle: Berichte der Hafenbehörden.

StatLink 2 <https://stat.link/oy6wrl>

Hamburgs Wettbewerbsvorteil nutzen: Governance, vertikale Integration und Verflechtungen im Hinterlandtransport und in der Logistik

Der Hamburger Hafen ist ein intermodaler Hub für Speditionen und Spediteure, die Kunden einer Vielzahl von Transport- und Logistikunternehmen im Hinterland sind. Transportentscheidungen sind oft Teil multimodaler Lieferkettenstrategien, zumal die Containerisierung den Zeit- und Kostenaufwand für den Frachttransfer reduziert hat.

Die Hafen-, Stadtverkehrs- und Logistikunternehmen sind durch wechselseitige Eigentumsverhältnisse, Partnerschaften und langfristige Geschäftsbeziehungen, die die Nutzung der Schiene für den Hinterlandtransport unterstützen, eng miteinander verbunden:

- Die Stadt Hamburg ist Mehrheitsaktionärin der Hamburger Hafenbehörde und des größten Hafenterminalbetreibers HHLA.
- Beide Terminalbetreiber (HHLA und Eurogate) halten erhebliche Anteile an Bahnbetreibern (Metrans bzw. EUROKOMBI) und Bahnterminals im Hinterland. EUROKOMBI ist das größte intermodale Bahnterminal Deutschlands. Metrans verbindet seine Hafenterminals mit Bahnterminals im Binnenland in Deutschland, Polen, Ungarn, der Slowakei und der Tschechischen Republik.
- Der Hamburger Hafen ist einer der größten Kunden der Deutschen Bahn. Neben Transfracht International (TFG) transportieren auch Unternehmen wie Railion, Intermodal, HHCE, Intercontainer-Interfrigo oder Kombiverkehr Güter direkt vom Hafen ins Hinterland auf der Schiene.
- Manche Schienengüterverkehrsunternehmen, wie DB Cargo, sind auch als externe Logistikunternehmen und Spediteure tätig.

Die Akteure beim Hinterlandtransport auf der Straße sind breiter gestreut. Bei der Handelskammer Hamburg sind 1700 Straßentransportunternehmen mit 45.000 Lkw registriert. Über 120 Kurierdienste stehen in Hamburg für den Transport von kleinen und eiligen Sendungen in ganz Deutschland und darüber hinaus zur Verfügung. Manche von ihnen sind auch im Bereich der städtischen Logistik in Hamburg tätig.

Neben diesen spezialisierten Lkw- und Güterbahnunternehmen bieten auch Unternehmen des kombinierten Verkehrs intermodale Dienste an. Die in Hamburg ansässige Zippel-Gruppe verfügt beispielsweise über einen Fuhrpark von 200 Lkw und hat 2019 2000 Ganzzüge betrieben. Drittanbieter von Logistikdienstleistungen bieten Lagerung, Verpackung und Zollabwicklung sowie eine Reihe von Haus-zu-Haus-Transportdiensten im Hinterland an. Container-Linien wie Maersk, CMA CGM, Cosco und NYK haben ihre eigenen Speditions-Tochtergesellschaften. Manche Spediteure (wie Kühne+Nagel) halten Anteile an Reedereien (in diesem Beispiel Hapag Lloyd). DB Schenker, eine Abteilung der Deutschen Bahn, ist ein globaler Logistikanbieter.

Insgesamt beschäftigen rund 12.600 Unternehmen 400.000 Menschen in der lokalen Logistikbranche. Die Speditionen reichen von kleinen Unternehmen bis hin zu großen multinationalen Konzernen. Der Einzelhandel trägt zu einem großen Teil zum Containerverkehr bei und bezieht direkt oder über Spediteure beträchtliche Mengen an Frachttransportleistungen. Größere Einzelhändler haben eigene Lagerhäuser, Fahrzeuge für den Transport auf der „letzten Meile“ oder sogar eigene Speditionsunternehmen, wie z. B. Hermes, das zum Hamburger Einzelhandelsunternehmen Otto Group gehört, einem der größten E-Commerce-Unternehmen der Welt.

Die Verbindung zwischen wachsender Frachtaktivität und CO₂-Emissionen aufbrechen

Mit 3602 Mt und 417,2 Mrd. Tonnenkilometern ist der deutsche Güterverkehr bei weitem der größte in Europa. Auf ihn entfällt fast ein Viertel der gesamten EU-Tonnage und doppelt so viel wie auf die nächstgrößeren Länder (Frankreich und Spanien). Der Anteil der Schiene ist in den letzten zwanzig Jahren von 16 % auf 19 % gestiegen, weil der Rückgang des traditionellen Massenguts durch einen Anstieg des Containertransports mehr als kompensiert wurde, und zwar dank erheblicher Investitionen an wichtigen Verbindungspunkten wie den Häfen (BALM, 2023[11]). Im Gegensatz dazu hat sich in Europa der Anteil der auf der Schiene transportierten Güter in den letzten 40 Jahren auf etwa 15 % halbiert, was zu einem Abwärtszyklus mit steigenden Fixkosten, Verlust der Wettbewerbsfähigkeit und Volumenverlusten geführt hat.

Der Straßengüterverkehr in Deutschland erreichte im Jahr 2022 303,50 Mrd. Tonnenkilometer, wovon 89 % auf den Binnenverkehr entfielen. Mehr als die Hälfte der Straßentonnage wird über weniger als 50 km transportiert. Der deutsche Lkw-Fuhrpark umfasst etwa 2,7 Mio. Fahrzeuge, davon fast eine Million über 3,5 Tonnen. Etwa 85.000 schwere Fahrzeuge (Lkw) werden jedes Jahr neu zugelassen.

Mit einem Anteil von 5,1 % am gesamten Güterverkehr hat Deutschland einen der größten Verkehrsanteile der Binnenschifffahrt in Europa. Im Jahr 2022 wurden etwa 182,45 Mio. Tonnen Güter auf deutschen Binnenwasserstraßen befördert, davon über 75 % im grenzüberschreitenden Verkehr. Rund 80 % werden zumindest auf einem Teil der Strecke auf dem Rhein transportiert.

Die Prognosen über die Auswirkungen der aktuellen politischen Maßnahmen stimmen darin überein, dass der Binnengüterverkehr bis in die 2040er Jahre um mindestens 30 % zunehmen wird, und dass der Straßenverkehr stärker wachsen wird, was seine dominierende Stellung im Modalmix noch verstärkt:

Die Prognosen für die EU zeigen einen Anstieg des Binnengüterverkehrs um 31 % bis 2030 gegenüber 2015 und um 55 % bis 2050, während der Straßengüterverkehr bis 2030 um 35 % zunehmen wird (ITF, 2021[12]).

In Deutschland geht eine aktuelle Prognose des Bundesministeriums für Digitales und Verkehr (BMDV) davon aus, dass der Güterverkehr bis 2051 im Vergleich zu 2019 um 30 % und der Straßengüterverkehr um 34 % zunehmen wird (Intraplan Trimode, 2023[13]).

Im Jahr 2019 war der Verkehr für 23 % der Treibhausgasemissionen in Deutschland verantwortlich. Auf den Straßenverkehr entfallen 80 % der gesamten Transportemissionen (196 MT CO₂e), wovon etwa 28 % auf den Schwerlastverkehr entfallen (UBA, 2023[14]). Wenn sich die Prognosen für den Güterverkehr bewahrheiten, würde der Güterverkehr ohne Dekarbonisierung weiterhin erheblich zu den CO₂-Emissionen beitragen. Die Ziele der EU und der Mitgliedstaaten zur Reduzierung der Emissionen erscheinen daher relativ ehrgeizig:

- Die EU strebt bis 2030 eine Senkung der Treibhausgasemissionen um 55 % gegenüber 1990 und Klimaneutralität bis 2050 an, wobei die CO₂-Emissionen des Verkehrs um 90 % gesenkt und der Anteil der Schiene am Güterverkehr bis 2030 um 50 % erhöht und bis 2050 verdoppelt werden soll.
- Deutschland will seine Treibhausgasemissionen bis 2030 um mindestens 65 % gegenüber 1990 reduzieren, bis 2045 Netto-Null-Emissionen erreichen, 30 % der Lkw-Fahrzeugkilometer elektrifizieren und den Anteil der Schiene am Güterverkehr bis 2030 auf 25 % erhöhen.

Die Hamburger Hafenbehörde orientiert sich am Ziel der Handelskammer Hamburg, bis 2040 klimaneutral zu sein. Die Häfen von Antwerpen und Rotterdam haben sich dieses Ziel für 2050 gesetzt. Die Hamburger Hafenbehörde hat sich außerdem das Ziel gesetzt, bis 2040 65 % des Gütertransports im Hinterland auf der Schiene abzuwickeln, sowie ein Ziel für die Auslastung der Container auf der Schiene von 80 TEU im Jahr 2025 (BWI, 2023[15]). Die HHLA hat sich in Bezug auf ihren Betrieb (Scope 1 und 2) zur Klimaneutralität bis 2040 verpflichtet und will ihre Emissionen bis 2030 um 50 % im Vergleich zu 2018 senken (HHLA, 2023[16]). Manche größeren Transportunternehmen haben Emissionsreduktionsziele formuliert. Beispielsweise hat sich Deutsche Post DHL Group für das Jahr 2050 das Ziel der Klimaneutralität gesetzt und strebt für das Jahr 2025 eine Steigerung der Kohlenstoffeffizienz um 50 % im Vergleich zu 2007 an. Mehrere große Speditionen haben Ziele zur Verringerung der Kohlendioxidemissionen, die sowohl ihre eigenen Aktivitäten als auch die ihrer Transport- und Logistikdienstleister umfassen. Zum Beispiel strebt die Otto Group für ihren Transport und ihre Logistik bis 2030 die Klimaneutralität an, und IKEA will bis 2030 seinen CO₂-Fußabdruck im Frachtverkehr um 70 % und in der Logistik um 80 % reduzieren.

Chancen und Hindernisse auf dem Weg zur Klimaneutralität

Um das prognostizierte Wachstum des Güterverkehrs mit den ehrgeizigen Klimaneutralitätszielen in Einklang zu bringen, sind große Anstrengungen zur Dekarbonisierung und Verbesserung der Energieeffizienz im Güterverkehr und in der Logistik erforderlich. Zu den Optionen, die für Hamburg und das Umland relevant sind, gehören die folgenden:

- Verkehrsverlagerung von der Straße auf die Schiene
- Verkehrsverlagerung von der Straße auf die dekarbonisierte Binnenschifffahrt
- Optionen für die Dekarbonisierung des Straßenverkehrs
- Verbesserungen der Energieeffizienz im Hinterlandtransport und in der Logistik.

Ihr potenzieller Beitrag zur Klimaneutralität der Hamburger Wirtschaft bis 2040 wird in diesem Abschnitt im Hinblick auf Kosten, Wirksamkeit und Zeitrahmen bewertet.

Das Potenzial für ein weitere Verlagerung des Verkehrs auf die Schiene

Die Verlagerung des Güterverkehrs von der Straße auf die Schiene hängt von zwei Faktoren ab: zum einen von der Steigerung der Attraktivität der Schiene und zum anderen von der Sicherung zusätzlicher Schienenkapazitäten zur Bewältigung der steigenden Nachfrage.

Die Entfernung ist eines der wichtigsten Unterscheidungsmerkmale bei der Wahl des Verkehrsträgers: Größere Entfernungen bringen Skaleneffekte und Möglichkeiten zur Bündelung von Verkehrsströmen mit sich und senken die Kosten für den intermodalen Transport im Verhältnis zu den Gesamtkosten. Gewicht und Volumen sind ebenfalls Schlüsselfaktoren, wobei Güter mit geringem Volumen und geringem Gewicht wie Textilien und Lebensmittel häufig auf der Straße transportiert werden, während über 80 % der Kohle und des Rohöls auf der Schiene oder per Binnenschiff befördert werden. Die Schiene ist der wettbewerbsfähigste Verkehrsträger, wenn es um große Mengen und Gewichte, lange Haltbarkeit und geringe Empfindlichkeit gegenüber Transportbedingungen geht, und zwar über größere Entfernungen, wobei der Optimalpunkt im Allgemeinen bei über 300 km bis 500 km liegt. Häfen wie Hamburg haben den Vorteil, dass sie die kritische Masse an Fracht generieren können, die für den Betrieb von Shuttlezügen mit hoher Frequenz und großer Kapazität ins Hinterland erforderlich ist.

Eine kürzlich durchgeführte ITF-Studie hat ergeben, dass eine Verlagerung des Güterverkehrs auf die Schiene schwierig ist, wenn diese bereits einen großen Anteil am Güterverkehr hat, wie es beim Hinterlandtransport von Hamburg aus der Fall ist, weil die Schiene bereits sehr kosteneffizient ist (ITF, 2022[17]). Der Hauptfaktor, der einer Verlagerung im Wege steht, ist die unelastische Nachfrage nach Straßentransporten: Reichweite, Geschwindigkeit und Flexibilität des Straßentransports sind der Schiene in der Regel überlegen, sodass Preisänderungen nicht immer die Verkehrsmittelwahl der Speditionen beeinflussen. Die Anstrengungen um eine Verkehrsverlagerung müssen sich daher darauf konzentrieren, die Attraktivität über Kostenerwägungen hinaus zu erhöhen, insbesondere durch die Förderung des multimodalen Verkehrs und die Verringerung der intermodalen Verweildauer. Die Verlagerung auf andere Verkehrsträger erfordert bessere Informationen, damit die Nutzer die richtigen Entscheidungen treffen können. Digitale Technologien sind in dieser Hinsicht von entscheidender Bedeutung, angefangen bei den Häfen. Die digitale Plattform EVITA/TransPORT Rail des Hamburger Hafens enthält Bahninformationen und spielt eine wichtige Rolle bei der Unterstützung des Hinterlandtransports per Schiene.

Wenn sich die Nachfrage nach der Schiene von der Straße weg verlagert, muss die Schienenkapazität wachsen. Die Beseitigung von Engpässen auf der Schiene rund um Hamburg erfordert erhebliche Investitionen mit langen Vorlaufzeiten. So ist beispielsweise der Korridor Hamburg-Hannover voll ausgelastet und renovierungsbedürftig, und die Verbindung Hamburg-Bremen muss modernisiert und um ein drittes Gleis erweitert werden. Trockenhäfen oder verlängerte Tore haben Engpässe verringert und die Nutzung der Schiene in Häfen wie Göteborg und Antwerpen erhöht, sind aber für Hamburg aufgrund der räumlichen Beschränkungen und der Vorlaufzeiten über 2040 hinaus keine Option (Merk and Notteboom, 2015[18]). Ein weiteres Problem ist, dass in Europa dem Fahrgastverkehr Vorrang vor dem Güterverkehr eingeräumt wird, was den Zugang zu Zeitfenstern am Tag einschränkt, insbesondere in der Nähe kritischer Knotenpunkte. Eine Erhöhung der Güterverkehrskapazität würde spezielle Güterverkehrsstrecken erfordern, von denen viele aus Kostengründen abgebaut wurden. Die Wiederherstellung solcher Strecken wäre eine langwierige und in manchen Fällen sogar unmögliche Aufgabe, da die Grundstücke längst verkauft sind.

Es wird allgemein davon ausgegangen, dass die realistischste Lösung für die Kapazitätsbeschränkungen darin besteht, den Schwerpunkt darauf zu legen, das Beste aus den derzeit verfügbaren Strecken zu

machen, und zwar durch eine groß angelegte Digitalisierung: Fortgeschrittene Zugsteuerungs- und Signalsysteme, die kabellose Kommunikation zur Überwachung der Züge nutzen, könnten die Kapazität auf vielen Netzstrecken ohne zusätzliche Gleise um mehr als 20 % erhöhen (ITF, 2022[19]). Die Gesetzgebung zum Europäischen Eisenbahnverkehrs aus dem Jahr 2000 hat zu technologischen Verbesserungen geführt, aber der Fortschritt ist langsam, zum Teil weil die Digitalisierung eher eine Transformation als eine schrittweise Änderung erfordert. Mit Ausnahme einiger weniger Länder ist die Digitalisierung nur langsam vorangekommen, auch in Deutschland. Der digitale Bedienplatz soll einen Teil des Systems aktualisieren, wenngleich die Fertigstellung erst für 2033 bis 2035 geplant ist.

Verlagerung auf dekarbonisierte Binnenschifffahrt

Der Gütertransport per Binnenschiff stößt bis zu zehnmal weniger CO₂ pro Tonne aus als der Straßenverkehr (und bis zu fünfmal weniger als der Schienenverkehr). Um Klimaneutralität zu erreichen, muss jedoch von Dieselmotoren für Binnenschiffe auf emissionsfreie Antriebe umgestellt werden, was eine große Herausforderung darstellt. Die Binnenschifffahrt weist in Bezug auf Kosten, Zeit und Flexibilität die gleichen strukturellen Merkmale auf wie die Schiene. Sie leidet auch unter infrastrukturellen Einschränkungen, insbesondere unter dem Engpass im Schiffshebewerk Scharnebeck südlich von Hamburg, da die neue Schleuse erst Anfang der 2030er Jahre fertiggestellt sein wird. Die Elbe und der Rhein haben regelmäßig mit niedrigen Wasserständen zu kämpfen, die durch den Klimawandel beeinflusst werden. Darüber hinaus muss der Zugang zu den Schiffen im Hafen selbst erweitert werden, um die Kapazität zu erhöhen.

Emissionsfreie Binnenschiffe werden in Hamburg getestet. Im Hafen werden ein wasserstoffbetriebenes Schubboot mit Brennstoffzellenantrieb und ein batterieelektrisch betriebenes Arbeitsboot getestet (Port of Hamburg Marketing, 2023[9]). Eine Machbarkeitsstudie für die Stadt Hamburg über ein elektrifiziertes Binnenschiff für den Transport auf der letzten Meile ergab keine signifikante Verringerung des Energieverbrauchs und der Emissionen im Vergleich zu Elektro-Lkw für Ladungen unterhalb der maximalen Tonnage (108 t), was seine Nützlichkeit für den städtischen Kurzstreckentransport von kleinen Ladungen einschränkt (Fraunhofer Institute, 2022[20]).

Die Binnenschifffahrtsbranche ist klein und zersplittert. Der technologische Sprung, der für den Übergang zur emissionsfreien Binnenschifffahrt erforderlich ist, setzt wahrscheinlich Fortschritte beim elektrischen Antrieb in der Seeschifffahrt und im Straßengüterverkehr voraus. Die Einführung neuer Technologien wird durch die große Vielfalt und die lange Lebensdauer von Schiffsrümpfen und Motoren, die über 30 Jahre beträgt, verlangsamt. Die Optionen für eine vollständige Dekarbonisierung der Binnenschifffahrt scheinen daher derzeit begrenzt.

Dekarbonisierung von Straßengüterverkehr und Logistik

Um die CO₂-Emissionen des Verkehrs bis 2030 um bis zu 48 % zu senken, muss laut BMDV ein Drittel der Fahrleistung des Straßengüterverkehrs emissionsfrei sein, und ein Drittel der Sattelschlepper (etwa 145.000 Fahrzeuge) emissionsfrei werden. Dies sind transformative Herausforderungen. Als die wichtigsten Optionen für die Dekarbonisierung des Straßengüterverkehrs in den 2020er und 2030er Jahren werden allgemein folgende angesehen:

- Batterieelektrische Fahrzeuge (BEV)
- Elektrische Straßensysteme (ERS)
- Wasserstoffbetriebene Brennstoffzellen-Elektrofahrzeuge (FCEV).

Obwohl diese Optionen umfassend analysiert wurden, bestehen weiterhin große Unsicherheiten in Bezug auf ihr Potenzial, schon allein deshalb, weil für eine Ausweitung viele technologische, marktbezogene und politische Hindernisse überwunden werden müssen.

Batterieelektrische Fahrzeuge

Mit mehr als einer Million Elektroautos auf den Straßen ist der deutsche Markt für elektrische Pkw gereift. BEV sind nun auch im Segment der leichten Nutzfahrzeuge (LCV) auf dem Vormarsch: Nach Angaben des Verbands der Automobilindustrie gab es 2021 über 180.000 batterieelektrische leichte Nutzfahrzeuge in Deutschland, ein Anstieg von 6 % gegenüber 2020 (VDA, 2022[21]). Ein Großteil dieses Anstiegs ist auf Lieferfahrzeuge für die „letzte Meile“ und Kurzstrecken-Lkw zurückzuführen, die übersehbare Tagesreichweiten und Nutzlasten, Rückfahrten zur Versandstelle und Ladevorgänge haben.

Fahrten über 400 km machen etwa 5 % aller Fahrten in Europa aus, stehen aber für 40 % der Lkw-Aktivität in der EU (in Tonnenkilometern) und 20 % der Lkw-Emissionen, mit ähnlichen Zahlen für den deutschen Straßengüterverkehr. BEV mit einer Reichweite von bis zu 500 km kommen auf den Markt. Durch das Aufladen während der obligatorischen Ruhezeit des Fahrers (in der Regel 45 Minuten alle 4,5 Stunden) kann die Reichweite so weit erhöht werden, dass über 90 % des Straßengüterverkehrs in Deutschland abgedeckt werden (T&E, 2021[10]).

Die Elektrifizierung von Fahrzeugen über 7,5 Tonnen erfordert eine leistungsstarke Ladeinfrastruktur. Batterieelektrische Lkw, die eine Hochleistungsschnellladung nutzen, benötigen kleinere Batterien, was die Wirtschaftlichkeit von batterieelektrischen Schwerlastfahrzeugen verändert (ITF, 2022[22]). Die Zahlen für die benötigte Infrastruktur sind hoch: Der Verband der europäischen Automobilhersteller European Automobile Manufacturers Association (ACEA) hat schätzungsweise 279.000 erforderliche Ladepunkte für schwere Fahrzeuge in ganz Europa bis zum Jahr 2030 ermittelt, von denen 84 % in Fuhrparkzentren und der Rest hauptsächlich an öffentlichen Hochleistungsladepunkten entlang von Autobahnen und in Nachtladestationen zu finden sein werden (ACEA, 2022[23]).

Als Teil des EU-Regelungspakets „Fit for 55“ schreibt die 2023 überarbeitete Richtlinie über die Infrastruktur für alternative Kraftstoffe vor, dass 15 % des gesamten TEN-T bis 2025 mindestens alle 120 km mit Schnellladestationen ausgestattet sein müssen, was sich bis 2027 auf 50 % und bis 2030 auf 100 % erhöht, wenn der maximale Abstand zwischen den Stationen 60 km im Kern-TEN-T und 100 km im umfassenden TEN-T betragen wird (ICCT, 2023[24]). In Deutschland schlägt der Masterplan Ladeinfrastruktur II des Bundes von 2022 10 Maßnahmen vor, um den Ausbau der Lkw-Ladeinfrastruktur zu beschleunigen, in erster Linie den Informationsaustausch zur Kartierung der Nachfrage und des Netzbedarfs, aber auch Ausschreibungen für ein Lkw-Schnellladenetz entlang der Hauptverkehrsachsen (BMDV, 2022[25]). Zu den Unternehmensinitiativen gehört eine Partnerschaft von 20 Forschungseinrichtungen und Unternehmen, darunter MAN und ABB, die am öffentlich finanzierten Megawatt-Hochleistungsladesystem „HoLa“ arbeitet. Daimler Truck, die Traton-Gruppe (Volkswagen) und die Volvo-Gruppe haben sich auch für das Milence-Projekt zusammengeschlossen, das entlang der Autobahn A2 Ladesysteme mit einer Leistung von zwei Megawatt errichtet.

Elektrische Straßensysteme

Eine Alternative zur statischen Aufladung ist ein elektrisches Straßensystem (ERS) mit einer Oberleitung, die auch die Batterie eines Lastwagens aufladen kann und genug Strom für kurze Strecken speichert. In Deutschland werden elektrische Straßensysteme (ERS) mit Bundesmitteln auf zwei kurzen Autobahnabschnitten und einer Bundesstraße getestet. Die Ergebnisse werden für Ende 2024 erwartet. Das Unternehmen Siemens, das das Konzept in Deutschland und Schweden testet, schätzt, dass 4000 km elektrisches Straßensystem (ERS) etwa 60 % des deutschen Lkw-Verkehrs auf den verkehrsreichsten Strecken bewältigen könnten.

Trotz der hohen Energieeffizienz scheinen die hohen Vorlaufkosten für Freileitungen (etwa 10 Mrd. Euro für 4000 km) ein großes Hindernis für die Einführung zu sein (Fraunhofer Institute et al., 2022[26]). Es besteht die Gefahr, dass die Akzeptanz durch die Trägheit des Marktes begrenzt wird oder dass die ERS-Technologie durch die Verbesserungen bei den BEV veraltet. Auch organisatorische Hindernisse wie die Erzielung einer europaweiten Vereinbarung über technische Standards sind zu überwinden.

Wasserstoffbetriebene Brennstoffzellen-Elektrofahrzeuge

Wasserstoffbetriebene FCEV sind weniger energieeffizient als BEV, aber für schwere Fahrzeuge, die lange Strecken fahren, ist das Gewicht ein entscheidender Faktor, und Wasserstoff hat eine wesentlich höhere Energiedichte. Bei einem Lkw mit 800 km Reichweite kann der Gewichtsunterschied bis zu 2 Tonnen betragen. FCEV können mit schwereren Nutzlasten bei kürzeren Standzeiten weiter fahren, da das Betanken im Allgemeinen schneller geht als das Aufladen. Der Reichweitevorteil bedeutet, dass sich FCEV für Fahrten über 1200 km eignen würden, wenngleich solche Fahrten weniger als 9 % der Tonnenkilometer in Deutschland ausmachen.

In Hamburg gibt es ein großes Interesse an der Wasserstoffwirtschaft. Auf dem Gelände des ehemaligen Kohlekraftwerks Moorburg wird eine Elektrolyseanlage für 100 MW gebaut. Bis 2026 soll sie grünen Wasserstoff für industrielle Prozesse sowie für Transport und Logistik liefern (REH, 2023[27]). Letztlich könnte sie bis auf 800 MW aufgestockt werden. In einer Studie für das Logistikunternehmen Dachser wurde Hamburg als einer von 4 strategischen Standorten identifiziert, an denen FCEV aufgrund der Verfügbarkeit von Wasserstoff und der günstigen Lage zunächst eingesetzt werden könnten (Dachser, 2022[28]). Die Regionen Hamburg und Niedersachsen haben ein 32-Mio.-Euro-Projekt gestartet, um Diesel-Lkw durch FCEV zu ersetzen. Im Rahmen des Projekts Clean Cargo Connect werden fünf Wasserstofftankstellen und zwei mobile Betankungsanlagen sowie eine Elektrolyseanlage in der Nähe von Oldenburg errichtet.

Laut einer aktuellen ITF-Studie sind die größten Herausforderungen die Energieumwandlungsverluste, die hohen Fahrzeugkosten (über 400.000 Euro im Vergleich zu rund 250.000 Euro für batterieelektrische Lkw und 130.000 Euro für Diesel-Lkw), die Betankungsinfrastruktur und der Preis für Wasserstoff (ITF, 2023[29]). Brennstoffzellen und Wasserstoff werden in diesem Jahrzehnt wahrscheinlich keine wesentlichen Kostensenkungen durch eine Ausweitung der Nutzung erfahren. Andere Märkte für Brennstoffzellen, wie die Seeschifffahrt, werden möglicherweise erst in den 2030er Jahren deutlich wachsen.

Verbesserung der Energieeffizienz im Hinterlandtransport und in der Logistik

Die Verbesserung der Energieeffizienz wird während des Übergangs zur Klimaneutralität und darüber hinaus von entscheidender Bedeutung sein, da die Nachfrage nach nachhaltigem Strom für ein weites Spektrum von Energieanwendungen steigen wird. Zum Beispiel würde das Aufladen der 40.000 Lastkraftwagen, die täglich im Hamburger Hafen ankommen, bis zu 16 GWh erfordern (für 40t-Lkw mit einer Batteriekapazität von 400 kWh). Auch wenn sie nicht gleichzeitig aufgeladen werden, würde dies eine sorgfältige Kapazitätsplanung erfordern. Die geschätzten Verbesserungen der Kraftstoffeffizienz, die durch die jüngste Überarbeitung der europäischen Standards zu erwarten sind, würden den Kraftstoffverbrauch von Lkw bis 2030 um 21 % gegenüber 2020 senken. Dieses Effizienzniveau würde ein optimiertes aerodynamisches Design der Schlepper voraussetzen, das auch den Stromverbrauch von elektrischen Schwerlastfahrzeugen reduzieren würde.

Die Verringerung der Energieintensität des Güterverkehrs hängt auch von der Optimierung der Routen und der Reduzierung von Leerfahrten ab. Im Jahr 2022 wurden in Europa 20 % aller Kilometer im Straßengüterverkehr mit leeren Fahrzeugen zurückgelegt, wobei der Anteil im Binnenverkehr (24 %) höher war als im internationalen Verkehr (13 %). Etwa 20 % der Lkw hatten suboptimale Ladungen (European Commission, 2022[30]). In Deutschland hat die Lkw-Maut die Leerfahrten schätzungsweise um 2 %

reduziert (T&E, 2017). Es gibt noch Optimierungsmöglichkeiten, insbesondere für kleinere Transporter und für leichte Nutzfahrzeuge, die ab 2024 die Lkw-Maut zahlen müssen.

Der Hamburger Hafen positioniert sich als wichtige Drehscheibe für Güterströme des E-Commerce. Der E-Commerce stellt eine Herausforderung für die städtische Logistik dar, da die Zahl der Sendungen in Hamburg bis 2030 um 71 % auf 163 Mio. steigen soll. Hamburgs Plan für nachhaltige Mobilität 2020 beinhaltet eine Strategie zur Dekarbonisierung der städtischen Logistik mit dem Ziel, die Emissionen auf der „letzten Meile“ bis 2030 um 40 % gegenüber 2017 zu reduzieren. Hamburg ist ein Testfeld für innovative Lösungen, um den starken Anstieg der Lieferungen mit Dekarbonisierung und Effizienzsteigerungen zu bewältigen. Zu den von der Logistikiinitiative Hamburg (LIHH) initiierten effizienten Liefernetzwerken gehören Mikrodepots anstelle von großen Lagerzentren, schwimmende Depots auf ungenutzten Kanalabschnitten und gemeinsam genutzte Depots, Fahrzeuge und Schließfächer (LIHH, 2023[31]). Ein Versuch mit UPS ergab, dass 100 Mikro-Depots im Stadtzentrum 40 % der Lieferungen auf der letzten Meile auf Lastenfahräder verlagern könnten. Zu den weiteren Initiativen gehört der Digital Hub Logistics Hamburg (einer von 12 Digital Hubs, die vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie zur Förderung der Digitalisierung ausgewählt wurden), der Unternehmen, Start-ups, Investoren und Forscher miteinander verbindet. Die Hamburger Behörde für Wirtschaft und Innovation prüft mit Unterstützung des EU-Projekts DECARBOMILE die Machbarkeit einer Verlagerung des Kurierverkehrs auf städtische Wasserstraßen. Die LIHH und neun Partner testen außerdem die Binnenschifffahrt im Rahmen des europäischen Projekts AVATAR für nachhaltigen städtischen Güterverkehr.

Logistik ist mehr als nur Mobilität: Sie umfasst auch Lager und Speicher, bei denen die wichtigsten Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz und Verringerung der Emissionen die Elektrifizierung der Ausrüstung, LED-Beleuchtung und die Anpassung der Auslegung zur Verringerung der Gabelstapler- und Lkw-Bewegungen sind. Beispielsweise sind alle Gabelstapler in den Lagern von Kühne+Nagel jetzt elektrifiziert und 75 % der Beleuchtung auf LED umgerüstet. Mit dem Wachstum des E-Commerce expandieren die Logistikimmobilien und bieten Möglichkeiten, nachhaltig zu bauen, wie bei einem neuen 53.300 m² großen Logistikzentrum in Hamburg-Wilhelmsburg, das mit Erdwärme beheizt wird, 6000 m² Solarmodule für den Betrieb von BEV hat und mit modernsten Isolierungs-, Heizungs- und Luftaustauschsystemen ausgestattet ist, um den Energieverbrauch zu minimieren.

Schneller auf dem Weg zur Klimaneutralität: Die Wirkung politischer Maßnahmen

Der „Peak-Verbrennungsmotor“ für Pkw ist in Sicht und die Elektrifizierung des Straßengüterverkehrs ist in vollem Gange: Batterieelektrische leichte Nutzfahrzeuge, die in großem Maßstab produziert werden, können bei den derzeitigen Preisen für Batterien bereits wettbewerbsfähig mit Dieselfahrzeugen sein (ITF, 2020[32]). Die Elektrifizierung größerer Fahrzeuge erfordert, da sie schwerer sind und längere Strecken zurücklegen, teure Hochleistungsladegeräte. Laut ITF-Analyse werden batterieelektrische schwere Fahrzeuge wahrscheinlich nicht vor 2037 die gleichen Gesamtbetriebskosten wie Dieselfahrzeuge erreichen. FCEV wären nur dann wettbewerbsfähig, wenn der Preis für Wasserstoff unter 2,5 EUR/kgH₂ (an der Zapfsäule) läge, statt wie derzeit bei 11 EUR/kgH₂, was eine große Herausforderung darstellt (ITF, 2022[17]).

Die Kostenwettbewerbsfähigkeit emissionsfreier Technologien hängt weitgehend von den Skaleneffekten im kommenden Jahrzehnt ab. Batterien unterliegen einer sich selbst verstärkenden Dynamik, die die Kosten auf dem Markt für Pkw senkt. Diese Dynamik schwappt auf das Segment der städtischen und regionalen Lieferwagen über. Wenn es weitere 15 Jahre dauert, bis dies auch im Langstreckenverkehr der Fall ist, wäre es zu spät. Wegen des langsamen Fuhrparkumschlags dürfte die Wettbewerbsfähigkeit vor 2030 erreicht werden: In Deutschland liegt das Durchschnittsalter der leichten Nutzfahrzeuge bei 8 Jahren, das der schweren Fahrzeuge bei 9,5 Jahren (Eurostat, 2023[33]). Laut dem ITF-Ausblick 2023 und unter der Annahme, dass batterieelektrische leichte Nutzfahrzeuge bereits heute wettbewerbsfähig

mit Dieselfahrzeugen sind und dass batterieelektrische schwere Nutzfahrzeuge dies im Jahr 2030 werden, würde ihr Anteil am Fuhrpark bis 2040 nur 30 bis 60 % für leichte Nutzfahrzeuge und 15 bis 30 % für schwere Nutzfahrzeuge betragen (ITF, 2023[34]).

Deutschland hat eine der höchsten Kaufprämien für emissionsfreie Lkw in Europa eingeführt, die bis zu 80 % der zusätzlichen Fahrzeugkosten und/oder der Ladeinfrastruktur ausgleicht, mit einer Obergrenze von 500.000 EUR, aber die Akzeptanz ist gering. Mit der Überarbeitung der europäischen CO₂-Standards für Lkw im Jahr 2023 werden die Zielvorgaben für Hersteller emissionsfreier Lkw auf 45 % ihrer Verkäufe ab 2030, 65 % ab 2035 und 90 % ab 2040 angehoben, was im Einklang mit dem Ziel des Green Deal der EU steht, die Dekarbonisierung bis 2050 zu erreichen. Sie sollen Anreize für die Hersteller schaffen, die Produktion hochzufahren, um Versorgungsengpässe auf dem Markt für emissionsfreie Fahrzeuge zu vermeiden.

Mit der Änderung der EU-Eurovignette für 2022 wird eine Steuer in Höhe von 200 Euro pro Tonne CO₂ für schwere Nutzfahrzeuge in Mitgliedsländern mit öffentlicher streckenbezogener Maut eingeführt, mit einer optionalen höheren Gebühr für externe Kosten für CO₂-Emissionen, die auf 16 Cent/km im gesamten oder einem Teil des Autobahnnetzes begrenzt ist. Das deutsche Autobahnmautsystem, die 2005 eingeführte Lkw-Maut, gilt für alle Fahrzeuge über 7,5 Tonnen (ab 2024 auch für Fahrzeuge über 3,5 Tonnen), ausgenommen emissionsfreie Fahrzeuge. Ihr Satz reicht von 9,8 Cent/km bis 35,4 Cent/km, je nach Fahrzeuggewicht, Achszahl und EURO-Emissionsklasse (Toll Collect, 2023[35]).

Maßnahmen für die Hamburger Wirtschaft auf dem Weg zur Klimaneutralität

Das Erreichen der Klimaneutralität bis 2040 erfordert eine proaktive Haltung aller Akteure der Hamburger Wirtschaft. Dies erfordert einen engagierten Maßnahmenplan der Handelskammer und der im Hinterlandtransport und in der Logistik tätigen Unternehmen.

Maßnahmen für die Handelskammer Hamburg

Der erste Schritt in Richtung Klimaneutralität besteht darin, von einer Strategie zur Emissionsreduzierung, die weitgehend auf Übergangskraftstoffen basiert, mit einem Energiemix, der sich auf LNG und CNG, Biokraftstoffe und grauen oder blauen Wasserstoff konzentriert, zu einer Strategie überzugehen, die sich auf emissionsfreie Lösungen konzentriert und auf erneuerbarem Strom basiert. Die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien ist seit langem ein wichtiges Merkmal des Stadtstaates: In der Nord- und Ostsee gibt es inzwischen 28 Offshore-Windparks, von denen mehrere von Hamburg aus gesteuert werden. Die Stadt räumt der Tiefengeothermie und der Abwärme für thermische Zwecke bereits Vorrang ein, sodass wertvoller Strom aus erneuerbaren Energien für den Verkehr und andere schwer abbaubare Anwendungen genutzt werden kann. Alle Akteure sollten die Notwendigkeit, diesen Strom effizient zu nutzen, in ihre Klimaneutralitätsstrategien integrieren.

Der Hamburger Hafen hat mit bemerkenswertem Erfolg die Schiene für den Gütertransport im Hinterland gefördert und einen positiven Kreislauf unterstützt, der dazu beigetragen hat, den Gesamtanteil der Schiene am deutschen Güterverkehr zu erhalten: Laut einer Studie von McKinsey haben gezielte Investitionen in die Schieneninfrastruktur, wie die des Hamburger Hafens, größere Verlagerungen auf die Schiene ausgelöst als Investitionen, die über das gesamte europäische Schienennetz verteilt sind (McKinsey & Company, 2022[36]). Die Stadt Hamburg unterstützt das Ziel des Bundes, den Anteil des Schienengüterverkehrs bis 2030 von 18 % auf 25 % zu erhöhen, und ist bestrebt, die Engpässe auf den Schienen aus Hamburg heraus zu beseitigen. Dies erfordert eine Koordinierung mit den verschiedenen Regierungsebenen, auch in nicht verkehrspolitischen Bereichen wie der Raumplanung.

Die Stadt und der Hafen haben einen großen Wettbewerbsvorteil bei der Umstellung auf Klimaneutralität, da ein großer Teil des Hinterland-Güterverkehrs dank der Bahn bereits emissionsfrei ist. Der hohe Anteil der Schiene, vor allem im Fernverkehr, ist ein weiterer Vorteil bei der Dekarbonisierung des Straßengüterverkehrs: Batterieelektrische Lkw erreichen im Kurz- und Mittelstreckenbereich schnell die Kostenparität mit dem Diesel; im Fernverkehr könnte dies erst in den 2030er Jahren der Fall sein. Im Falle Hamburgs, wo die Schiene auf Langstrecken gut etabliert ist, wird sich die Dekarbonisierung auf Strecken bis zu 300 bis 500 km konzentrieren, wo batterieelektrische Lkw derzeit auf den Markt kommen. Dies bietet Hamburg eine frühe Möglichkeit, sich innerhalb des Zeitrahmens bis 2040 als klimaneutrale Verkehrsdrehscheibe zu positionieren.

Alle Null-Emissions-Technologien erfordern neue Infrastrukturen und Investitionen. Jetzt ist es an der Zeit, dass die Akteure die Weichen stellen, denn die Erreichung des Klimaneutralitätsziels für 2040 wird 10 bis 20 Jahre Infrastrukturentwicklung erfordern. Die Ungewissheit wird für den Güterfernverkehr noch verstärkt, da verschiedene Rechtsordnungen unterschiedliche Entscheidungen treffen könnten. Daher ist es wichtig, die Infrastrukturplanung entlang der Hauptrouten von den Häfen ins Hinterland lange vor der endgültigen technologischen Entscheidung zu koordinieren.

In einer ITF-Studie aus dem Jahr 2021 über kohlenstofffreie Lieferketten in Hamburg wird empfohlen, dass die Hamburger Hafenbehörde eine proaktivere Rolle bei der Dekarbonisierung der Transporteure spielen sollte, indem sie ihre Position als wichtiger Verkehrsknotenpunkt ausnutzt (ITF, 2021[37]). Die Handelskammer ist gut aufgestellt, um Hinterlandtransport- und Logistikunternehmen zu ermutigen, Ziele im Einklang mit dem Neutralitätsziel 2040 zu entwickeln und sie bei der Entwicklung entsprechender Strategien zu unterstützen. Dazu sollte die Einrichtung von Netzwerken und thematischen Ausschüssen innerhalb der Kammer gehören, damit sich alle Akteure koordinieren und Wissen sowie Ressourcen teilen.

Die Herausforderung, Null-Emissionen in den globalen Lieferketten zu erreichen, ist gewaltig: Durch die Förderung der streckenspezifischen Zusammenarbeit zwischen den Transportunternehmen und den Rechtsordnungen wird sie leichter zu bewältigen sein. Solche Anstrengungen können Unsicherheiten verringern und Infrastrukturinvestitionen mobilisieren, was Hamburg einen Vorsprung verschafft. Dazu könnte die Förderung von „grünen Korridoren“ für den Hinterland-Güterverkehr gehören, ähnlich wie die 2022 vereinbarte Route für einen emissionsfreien Seeverkehrskorridor zwischen Hamburg und Halifax (Port of Halifax, 2023[38]).

Unternehmen könnten auch von sofortiger praktischer Hilfe bei der Auswahl emissionsfreier Lösungen für Fahrten profitieren, indem sie Tools wie den „eCOcalculator“ des Hafens von Barcelona nutzen, um die CO₂-Emissionen zu bewerten, die durch den Transport eines Containers ins Hinterland entstehen (Port of Barcelona, 2019[39]). Dieser Service könnte auf eine tiefgreifende Analyse ausgeweitet werden, um komplexere Transportketten zu bewerten und Lösungen zur Emissionsreduzierung zu erkunden.

Der Hafen Hamburg ist, wie viele andere Häfen auch, tief in ein Ballungsgebiet mit einem dicht besiedelten Hinterland eingebettet. Während emissionsfreie Fahrzeuge zwar CO₂-Emissionen und Abgas-schadstoffe eliminieren und den Verkehrslärm halbieren, werden andere Auswirkungen wie Bremsemissionen und Verkehrsstaus bestehen bleiben und mit dem prognostizierten Anstieg des Güterverkehrs sogar noch zunehmen. Die künftige Bedeutung von batterieelektrischen Fahrzeugen (BEV) weist auch auf die Notwendigkeit hin, die Anstrengungen zur Dekarbonisierung mit dem Energie- und Verkehrsnachfragemanagement zu verknüpfen.

Die Erfahrung zeigt, dass Unternehmen vom Informationsaustausch und der Vernetzung profitieren, um Umstellungen vorzunehmen und finanzielle Entscheidungen zu treffen – sie helfen, kosteneffiziente Lösungen zu finden und Transaktionskosten zu senken. Im Allgemeinen werden energieintensive Lösungen für Unternehmen eher in Betracht gezogen als die Änderung von Gewohnheiten oder Verfahren zur

Verringerung des Energieeinsatzes, wenngleich Energieeinsparungen in der Tat der erste „Null-Emissions-Kraftstoff“ (IEA, 2021[40]) sind und angesichts der Schwierigkeiten, die Produktion erneuerbarer Energien in der erforderlichen Größenordnung auszubauen, von entscheidender Bedeutung sind. Eine koordinierte Logistik macht solche Einsparungen nutzbar.

Die ITF-Fallstudie für Hamburg empfahl auch eine stärkere Einbindung der Stadtverwaltung in den kohlenstofffreien Güterverkehr durch die Initiierung einer Koordinierungsgruppe für Hafenstädte in Europa und der ganzen Welt, um gemeinsame politische Maßnahmen zu entwickeln. Die Koordinierung mit Rechtsordnungen, die als Konkurrenten im Güterverkehr angesehen werden könnten, ist für die HK besonders wichtig, um eine Verlagerung von CO₂-Emissionen zu vermeiden. Die Stadt und ihr Hafen sind optimale Kulissen, um emissionsfreie Lösungen zu testen und zu demonstrieren. Effektive politische Lobbyarbeit setzt voraus, dass so bald wie möglich ein technologischer und politischer Überblick über die betreffenden Themen geschaffen wird, damit relevante Informationen rechtzeitig weitergegeben werden können.

Maßnahmen für Unternehmen

Das größte Hindernis für Speditionen ist der Mangel an emissionsfreien Transportlösungen, die von den Transportunternehmen angeboten werden. Der hohe Anteil der Schiene am Güterverkehr aus dem Hamburger Hafen verschafft Schiffsbetreibern und Transportunternehmen im Vergleich zu vielen anderen großen Häfen einen Vorsprung bei der Arbeit an emissionsfreien Lieferketten. Derzeit wäre die einzig mögliche emissionsfreie Gütertransportkette eine Kombination aus Schienentransport und dem Transport auf der letzten Meile mit BEV, wenngleich in der Praxis immer noch unvermeidbare CO₂-Emissionen entstehen, da der Straßentransport noch nicht vollständig dekarbonisiert ist.

Unternehmen können den Übergang zur Klimaneutralität beschleunigen, indem sie frühzeitig in emissionsfreie Lösungen investieren, auch wenn diese zunächst mit einem „grünen“ Kostenaufschlag verbunden sind, den manche Kunden zu zahlen bereit sind. Um auf diesen neuen Märkten erfolgreich zu sein, sollten Unternehmen Marktstrategien entwickeln, die auf grüne Segmente ihres Geschäfts abzielen.

Viele Akteure im Güterverkehr sind miteinander verflochten. Strategische Partnerschaften zwischen Speditionen, Logistikanbietern und ihren Transportpartnern können ein kooperatives Umfeld schaffen, das die Dekarbonisierung der Lieferkette unterstützt. Langfristige Schifffahrtsverträge, die bei der Ausschreibung Kriterien für die Klimaneutralität enthalten, können ebenfalls eine Gelegenheit zur Dekarbonisierung von Transport- und Logistikbetrieben bieten.

Transport- und Logistikunternehmen mit großen Fuhrparks könnten in einem ersten Schritt auf dem Weg zur Dekarbonisierung die Einführung emissionsfreier Lkw in Clustern oder entlang von Transportspuren testen. Die Vernetzung könnte dazu beitragen, dass private Depot-Ladestationen eingerichtet werden, die für den Bedarf an Ladestationen für den Fuhrpark von zentraler Bedeutung sind. Der Zugang dazu wird durch die Zusammenarbeit zwischen Fuhrparkbesitzern, Lkw-Herstellern, Versorgungsunternehmen und Infrastrukturanbietern gefördert.

Finanzierungs- und Leasingunternehmen sollten ihr Augenmerk auf innovative Geschäftsmodelle richten, um die mit dem emissionsfreien Lkw-Verkehr verbundenen Vorlaufkosten zu überwinden, insbesondere für kleinere Betreiber. Lösungen wie Trucking-as-a-Service und Charging-as-a-Service können Fuhrparkbesitzern den Übergang zu emissionsfreiem Fahren erleichtern, da sie weniger kapitalintensiv sind (ICCT and ECTA, 2022[41]).

Die größeren Unternehmen verfügen über eigene Forschungs- und Innovationszentren mit dem Schwerpunkt, sich auf die Logistik des nächsten Jahrzehnts und darüber hinaus vorzubereiten. Hamburg als wichtiger Industrie- und Verkehrsknotenpunkt verfügt über die kritische Masse an Wissen und

Ressourcen, um diese Anstrengungen zu unterstützen. Die Handelskammer könnte sich dafür einsetzen, kleine Unternehmen mit diesen Anstrengungen zu verbinden und sie mit der wissenschaftlichen Beratung vor Ort zu kombinieren.

Wichtige Maßnahmen

Sofortmaßnahmen

- Die Handelskammer Hamburg könnte durch die Zusammenarbeit von Spediteuren, Fahrzeugherstellern und Infrastrukturanbietern grüne Korridore für den Hinterland-Güterverkehr vorbereiten.
- Die Handelskammer Hamburg könnte „ecocalculator“-Tools zur Verfügung stellen, um die durch den Transport von Gütern verursachten CO₂-Emissionen zu bewerten und dabei Emissionsoptionen für einzelne Fahrten und Routen zu berücksichtigen.
- Die Handelskammer Hamburg könnte eine technologische und politische Beobachtungsstelle für die Überwachung und den Austausch von Informationen in Bezug auf emissionsfreie Optionen im Güterverkehr und in der Logistik einrichten.
- Frachtauftraggeber sollten Kriterien für Dekarbonisierung und Energieeffizienz in die Verfahren zur Vergabe von Frachtverträgen aufnehmen, um Spediteuren Anreize für umweltfreundlichere Praktiken zu geben.
- Transport- und Logistikunternehmen sollten die Einführung emissionsfreier Lkw in Clustern oder auf bestimmten Strecken als Schritt zur vollständigen Dekarbonisierung erproben.
- Transport- und Logistikunternehmen sollten ein grünes/klimaneutrales Dienstleistungsangebot entwickeln, Zielmärkte identifizieren und eine Preisstrategie für emissionsfreie Dienstleistungen entwerfen.

Bis 2030

- Die Handelskammer Hamburg könnte sich dafür einsetzen, die Position Hamburgs als Drehscheibe für saubere Energie zu nutzen und dabei die Umstellung auf Dekarbonisierung zu berücksichtigen.
- Die Handelskammer Hamburg könnte eine koordinierte energiesparende Logistik fördern, indem sie Informationen und Netzwerke bereitstellt.
- Frachtauftraggeber sollten strategische Partnerschaften mit Logistikanbietern und Transportpartnern eingehen, um gemeinsam auf die Dekarbonisierung der Lieferketten hinzuarbeiten.
- Transport- und Logistikunternehmen sollten zusammenarbeiten, um private Depot-Ladestationen für elektrifizierte Schwerlastfahrzeuge einzurichten, insbesondere dort, wo es an öffentlicher Infrastruktur fehlt.

Bis 2040

- Die Handelskammer Hamburg könnte die Entwicklung überwachen und sich mit anderen Rechtsordnungen koordinieren, insbesondere bei der Erneuerung der Bahnstrecken und anderen Verbesserungen der Infrastruktur.

- Die Handelskammer Hamburg könnte weiterhin die Auswirkungen des Güterverkehrs auf die städtische Umwelt berücksichtigen, einschließlich Feinstaubemissionen, Verkehrsstaus und Lärm.

Der Übergang zur Klimaneutralität in wichtigen Produktionssektoren

Wie in Kapitel 1 erörtert, beschäftigt das verarbeitende Gewerbe in Hamburg mehr als 100.000 Menschen und erwirtschaftet rund 12 % der Wertschöpfung. Es ist der produktivste Wirtschaftszweig in der Hamburger Wirtschaft. Manche Sektoren des verarbeitenden Gewerbes sind besonders schwer klimaneutral zu stellen (OECD, 2023[42]), vor allem die Sektoren, die Grundstoffe herstellen, einschließlich Grundmetallen und Ölraffinerien. Diese beschäftigen rund 8000 Arbeitnehmer in Hamburg. Darüber hinaus wird in der Nähe von Hamburg Zement hergestellt.

Diese Sektoren sind besonders stark von fossilen Brennstoffen abhängig, sowohl als Energieträger als auch als Rohstoffe. Sie benötigen hohe Temperaturen in den Produktionsprozessen, die sich nicht ohne weiteres für eine Elektrifizierung eignen. Langlebige Anlagegüter kennzeichnen die Produktion in diesen Sektoren. Der Ersatz bestehender Anlagen muss daher möglicherweise bereits ab 2025 konsequent netto-null-kompatibel sein, um 2050 Klimaneutralität zu erreichen (Material Economics, 2019[43]).

Die verarbeitende Industrie, die Grundstoffe produziert, ist im Hafen angesiedelt. Der Hafen trägt dazu bei, die Produktion besser in die globalen Wertschöpfungsketten zu integrieren. In der Tat durchdringt die Produktion von Grundstoffen die Wertschöpfungsketten einer breiten Palette von Fertigungsprodukten. Sie hängt auch von der Einfuhr von Materialien und Energie ab. So sind in der EU allein in der Herstellung von Roheisen und Stahl 375.000 Menschen beschäftigt. Die Zahl der vor- und nachgelagerten Arbeitsplätze könnte fünfmal so hoch sein (Oxford Economics, 2019[44]). In der Aluminiumproduktion sind etwa 230.000 Menschen beschäftigt, und wenn man die indirekte Beschäftigung einbezieht, sind es etwa 1 Million (European Aluminium, 2015[45]). Eine erfolgreiche Dekarbonisierung der Grundstoffproduktion ist daher nicht nur für Hamburg, sondern für ganz Europa wichtig.

Die Umstellung auf eine Kreislaufwirtschaft ist besonders wichtig für die verarbeitende Industrie, die Grundstoffe herstellt. Die Verringerung der Nachfrage nach Rohstoffen spart Energie und andere Ressourcen und vermeidet Prozessemissionen. (Sun, Lettow and Neuhoff, 2021[46]). Ansätze der Kreislaufwirtschaft könnten zum Beispiel die CO₂-Emissionen von Kunststoffen, Stahl, Aluminium und Zement in den Industrieländern bis 2050 um 56 % reduzieren, verglichen mit einer Ausgangssituation ohne weitere Klimaschutzmaßnahmen und ohne größere Veränderungen der Materialintensität oder der Industriestruktur (Johnson et al., 2021[47]; Sharmina et al., 2021[48]; Material Economics, 2019[43]).

Nicht nur das Klima, sondern auch die Gewinnung und Verarbeitung von Rohstoffen ist weltweit für eine erhebliche Verschmutzung von Wasser, Boden und Luft sowie die Zerstörung von Ökosystemen verantwortlich. Diese Umweltauswirkungen sind bei der Produktion von Grundmetallen, insbesondere Stahl und Kupfer, besonders gravierend. Es wird prognostiziert, dass sich die meisten globalen Umweltauswirkungen der Gewinnung und Verarbeitung dieser Schlüsselmaterialien zwischen 2017 und 2060 mindestens verdoppeln werden, wenn sich die jüngsten Trends bei der Nutzung der Materialien und der politischen Maßnahmen fortsetzen (OECD, 2019[49]). Diese Trends müssen umgekehrt werden, um die globalen, miteinander verknüpften Herausforderungen des Klimawandels, des Verlusts der biologischen Vielfalt und der Bodendegradation anzugehen.

Die Kreislaufwirtschaft erfordert den Austausch und die Wiederaufbereitung von Materialien oder gemeinsam genutzten Anlagen zwischen Produktionsstätten oder deren Kunden. Sie erfordert auch den Übergang zur Produktion von Gütern, die länger genutzt, wiederverwendet oder gemeinsam genutzt werden können. Daher ist es wichtig, die Transaktionskosten zu senken, z. B. um sicherzustellen, dass die

genaue Zusammensetzung von Materialien oder die Reparierbarkeit von Komponenten bekannt ist. Digitalisierung und industrielle Symbiose können dazu beitragen:

- Die Digitalisierung kann die Praktiken der Kreislaufwirtschaft in der Industrie durch eine verbesserte Nachverfolgung der Produkt- und Materialzusammensetzung unterstützen. Zu den wichtigsten Möglichkeiten gehören Markierungstechnologien, kostengünstige Sensoren und die Nachverfolgung in Echtzeit, um bessere Informationen über die Materialzusammensetzung zu erhalten, sowie die Automatisierung, zum Beispiel beim Sortieren (Material Economics, 2018[50]). Weitere Möglichkeiten sind Geolokalisierungstechnologien zur Angabe des Standorts von Vermögenswerten oder Blockchain zur Speicherung von Informationen (OECD, 2020[51]). Digitale Technologien senken auch die Transaktionskosten in innovativen Geschäftsmodellen mit Kreislaufwirtschaft, wie etwa bei der Bereitstellung von Investitionsgütern als Dienstleistung (Barteková and Börkey, 2022[52]).
- Die industrielle Symbiose oder Kreislaufwirtschaft, wie sie manchmal genannt wird, beinhaltet die Verwendung von Nebenprodukten eines Unternehmens als Input für ein anderes. Die industrielle Symbiose reduziert die Zahl der Zwischenhändler und ist vor allem in Branchen verbreitet, die reine und homogene Materialien herstellen, wie z. B. die chemische Industrie. Manche dieser Beziehungen können sich organisch entwickeln oder sind das Ergebnis von sorgfältig geplanten Industrieparks (OECD, 2019[53]). Die sektorübergreifende Zusammenarbeit von Industriebetrieben, die gemeinsame Nutzung von Infrastrukturen und Materialinputs und -outputs (einschließlich Abfällen) kann die Ressourcennutzung ebenfalls optimieren.

Die Dekarbonisierung der Fertigung ist angesichts des globalen Wettbewerbs und der unterschiedlichen klimapolitischen Ambitionen der einzelnen Länder eine besondere Herausforderung. Im Prinzip könnte die Bepreisung des ökologischen Fußabdrucks in den Wertschöpfungsketten diese Herausforderung angehen. Der EU-Grenzausgleich für Stahl-, Aluminium- und Zementprodukte trägt dieser Herausforderung in gewissem Maße Rechnung, kann aber dazu führen, dass einheimische Produzenten auf Drittmarkten, auf denen solche Regeln nicht existieren, eine schlechtere Wettbewerbsfähigkeit haben. Breite internationale Allianzen für die Besteuerung von ökologischen Fußabdrücken sind daher sinnvoll.

Im folgenden Abschnitt werden die schwer zu dekarbonisierenden Bereiche des verarbeitenden Gewerbes in Hamburg näher betrachtet, insbesondere die Stahl-, Kupfer- und Aluminiumherstellung sowie Ölraffinerien.

Stahlherstellung

Stahl ist in der Weltwirtschaft aufgrund seiner breiten Anwendung in der Fertigung und im Bauwesen, wie z. B. bei Automobilen, Industriemaschinen, Gebäuden, Eisenbahnen und Brücken, unverzichtbar. Stahl ist auch für Investitionsgüter und Infrastrukturen im Rahmen der Netto-Null-Umstellung von entscheidender Bedeutung, so für Elektrofahrzeuge und Windkraftanlagen. Die Nachfrage könnte in Europa insgesamt stabil bleiben oder leicht steigen, während die weltweite Nachfrage um mehr als ein Drittel zunehmen könnte (IEA, 2020[54]). Unter den Schwerindustrien, die Grundstoffe produzieren, ist die Eisen- und Stahlproduktion neben den nichtmetallischen Mineralien im Verhältnis zur Wertschöpfung besonders abhängig von Frachtdiensten (OECD, 2023[42]).

In Hamburg sind drei Anlagen der Stahlherstellung im EU-Emissionshandelssystem vertreten, die alle zu ArcelorMittal gehören. 2019 beliefen sich die Emissionen der drei Anlagen auf insgesamt 346.000 Mt CO₂. ArcelorMittal ist eines der weltweit führenden integrierten Stahl- und Bergbauunternehmen. Das Unternehmen produziert weltweit 69,1 Mio. t Rohstahl, davon 0,9 Mio. t in Hamburg. In Hamburg

produziert das Unternehmen auch Barren und hochwertigen Walzdraht. Die Produktion wird hauptsächlich an Kunden aus der Automobilindustrie und dem Maschinenbau auf dem europäischen Markt verkauft.

Langfristig erfordert die Dekarbonisierung die Einführung neuer Technologien für die Stahlproduktion auf der Basis von abgebautem Roheisen (Primärproduktion). Die wichtigste Option, ohne auf Kohlenstoffabscheidung und -speicherung (CCS) zu setzen, ist die wasserstoffbasierte Direktreduktion mit „grünem“ Wasserstoff (H-DR) (IEA, 2020[54]; Material Economics, 2019[43]). Die H-DR-Route für die Stahlerzeugung könnte in Regionen mit Zugang zu preiswertem grünem Wasserstoff attraktiver sein. Grüner Wasserstoff, der mit erneuerbarem Strom erzeugt wird, ersetzt Kohle oder Erdgas als Reduktionsmittel. Die Stahlproduktion in Hamburg könnte daher von einem Wasserstoff-Hub in Hamburg profitieren, um Zugang zu Wasserstoff zu möglichst niedrigen Kosten zu erhalten, ein Thema, das weiter unten aufgegriffen wird. Der Bedarf an Wasserstoff kann auch vermieden werden, indem die Produktion von Eisenpellets an Standorte mit günstiger Wasserstoffproduktion ausgelagert wird. Eisenpellets sind leicht zu transportieren.

Derzeit wird der meiste Stahl weltweit mit einer Kombination aus Hochöfen und Sauerstoffaufblaskonvertern (BF-BOF) hergestellt. Eine weitere Methode zur Stahlerzeugung ist die Direktreduktion und der Einsatz von Elektrolichtbogenöfen (DRI-EAF). DRI-EAF haben das Potenzial, mit grünem Wasserstoff und klimaneutralen Stromquellen (Wang et al., 2021[55]; Bataille, 2020[56]) vollständig dekarbonisiert zu werden, was die Scope-1- und Scope-2-Emissionen angeht, ohne dass die Produktionsanlagen in großem Umfang ersetzt werden müssen (Kasten 3.5).

In Hamburg wird Stahl mit Europas einzigem DRI-EAF-Ofen (Eurofer, 2022[57]) produziert. Die Hamburger Stahlproduktion ist daher relativ gut für eine Dekarbonisierung aufgestellt. Dennoch werden die neuen Verfahren weitreichende Auswirkungen auf die Infrastruktur haben, z. B. auf die Lagerung und Verarbeitung von Rohstoffen, den Transport und die Versorgung mit Energie, die Verteilung und Erzeugung von Strom und Dampf (Material Economics, 2019[43]). Wie auch anderswo ist die Stahlherstellung in Hamburg besonders energieintensiv.

ArcelorMittal bereitet sich auf die Umstellung auf Wasserstoff anstelle von Erdgas im Verfahren zur Eisenerzreduktion vor. Derzeit läuft ein Projekt zur Erprobung von Wasserstoff-DRI für die Eisenerzeugung im industriellen Maßstab, das in das EAF-Stahlerzeugungsverfahren integriert wird (Reuters, 2021[58]). Ziel ist es, die Technologie bis 2025 zur industriellen Marktreife zu bringen und zunächst 100.000 Tonnen klimaneutrales Eisen pro Jahr zu produzieren. Die deutsche Regierung hat ihre Absicht bekundet, den Bau der Anlage mit 55 Mio. Euro zu fördern (Kasten 3.6).

Kasten 3.5 Stahlproduktionsmethoden weltweit

Die Phasen der Eisen- und Stahlerzeugung sind die emissions- und energieintensivsten Phasen bei der Herstellung von Mineralien für Stahlprodukte. Derzeit wird der meiste Stahl weltweit mit einer Kombination aus Hochöfen und Sauerstoffaufblaskonvertern (BF-BOF) hergestellt. Eine weitere Methode zur Stahlerzeugung ist die Direktreduktion und der Einsatz von Elektrolichtbogenöfen (DRI- EAF).

- **BF-BOF:** Eisenerze werden mit hoch gereinigter Kohle in einem Hochofen (BF) erhitzt. Der Kohlenstoff in der Kohle verbindet sich mit dem Sauerstoff des Eisenerzes zu CO und CO₂, sodass das elementare Eisen in geschmolzenem Zustand zurückbleibt. In einem anschließenden Legierungsverfahren in einem separaten Sauerstoffaufblaskonverter (BOF)

werden dann verschiedene andere Elemente wie Kohlenstoff, Chrom, Zink und Nickel hinzugefügt, um Stahl zu erzeugen.

- **DRI-EAF:** Bei der Direktreduktion (DR) reagiert das Eisenerz mit Wasserstoff (H₂) in Verbindung mit Kohlenmonoxid (CO) in einem Synthesegas, das heute meist aus Methan (meist aus Erdgas) und Wasser hergestellt wird. Das elementare Eisen wird dann in einem Elektrolichtbogenofen (EAF) geschmolzen und nach Bedarf legiert, um Stahl zu erzeugen (Wang et al., 2021[55]; Bataille, 2020[56]).

Stahlprodukte können aus Eisenerz oder Schrott oder aus einer Kombination von beidem hergestellt werden. Recycelter Sekundärstahl wird in der Regel nach der EAF-Methode hergestellt. Bei der BF-BOF-Methode werden im Durchschnitt 2,3 Tonnen CO₂e pro Tonne produzierten Stahls emittiert. Erdgasbetriebene DRI-EAF-Anlagen emittieren 0,7 Tonnen CO₂ pro Tonne produzierten Stahls (Wang et al., 2021[55]; Bataille, 2020[56]).

Quelle: (OECD, 2023[42]).

Produktionskosten und Investitionen

Auf der Grundlage aktueller Schätzungen der nivellierten Produktionskosten für Anlagen im kommerziellen Maßstab ist die Herstellung einer Tonne kohlenstofffreien Primärstahls (d. h. ohne Verwendung von recycelten Materialien als Input) mindestens 8–9 % teurer als die heutigen wichtigsten kommerziellen Produktionswege. Allerdings basiert dies auf einer mit CCS ausgestatteten Direktreduktion (DR), mit aus Erdgas erzeugtem Wasserstoff und innovativen Schmelzreduktionsverfahren. Der Einsatz von CCS in großem Maßstab ist mit großer Unsicherheit behaftet. Alle anderen Optionen zur Dekarbonisierung von Stahl, mit Ausnahme des Recyclings, kosten mindestens 30 % mehr. Der Weg über die wasserstoffbasierte Direktreduktion erhöht die Kosten für Massenstahl typischerweise um etwa 35–70 % (IEA, 2020[59]), wobei die Energieeffizienz und der Strompreis die entscheidenden Faktoren sind. Die Kosten können auch je nach Zugang zu grünem Wasserstoff variieren. Bei nachgelagerten Produkten kosten Metallteile vielleicht 10 % mehr und würden zum Beispiel ein Auto nur um 300–400 USD verteuern (0,5–2 %) (Bataille, 2020[56]). Sinkende Kosten für die Produktion von grünem Wasserstoff werden diese Lücke verkleinern.

Die Rentabilität der emissionsfreien Produktion von primärem Eisen und Stahl in Hamburg wird von den Strom- und Wasserstoffpreisen abhängen. Eine differenzierte Verteilung der Strompreise über Zeit und Raum würde zu effizienteren Energiemärkten führen und energieintensiven Industrien in Norddeutschland, einschließlich Hamburg, eine bessere Chance geben. Das gesamte regionale Gleichgewicht von Energieangebot und -nachfrage in Hamburg wird daher wahrscheinlich auch die Preise beeinflussen, zu denen Strom an die Industrie geliefert wird.

Die Integration von Praktiken der Kreislaufwirtschaft in die Produktion von Stahl und anderen Grundmetallen ist der Schlüssel zur Senkung der Scope-3-Emissionen. ArcelorMittal veröffentlicht zwar keine Scope-3-Emissionen, aber die Emissionen aus der Kupferproduktion in Hamburg lassen vermuten, dass sie ein Vielfaches der Scope-1- und Scope-2-Emissionen betragen können. Abgesehen vom Klima gehören die Gewinnung von Roheisen und seine Verarbeitung zu den umweltschädlichsten Aktivitäten in der Materialverarbeitung, mit einem breiten Spektrum starker, negativer Auswirkungen auf den Energieverbrauch, das Klima, die Humantoxizität sowie die Schädigung von Land und Ökosystemen, die bei den derzeitigen weltweiten Trends in der Materialnutzung weiter ansteigen dürften (OECD, 2019[49]). Die

Integration von Praktiken der Kreislaufwirtschaft ist daher von strategischem Interesse, insbesondere bei Stahl.

Bei der Verwendung von Stahlschrott wird hauptsächlich Strom verbraucht, was zu wesentlich geringeren Treibhausgasemissionen führt (Wang et al., 2021[55]). Sie kann vollständig dekarbonisiert werden, ohne auf Wasserstoff zurückzugreifen und mit einem wesentlich geringeren Energieeinsatz. Die Ausweitung der Stahlproduktion auf der Grundlage der Schrottverarbeitung kann auch eine interessante Option sein, wenn die Strom- oder Wasserstoffkosten lokal zu hoch sind. Die Verwendung von Schrott für das Recycling (IEA, 2020[60]) stößt derzeit an Grenzen, sowohl was die Verfügbarkeit von Schrott als auch was die Qualität angeht. Daher können sich Emissionsminderungsstrategien für Stahl nicht allein auf das Recycling (Material Economics, 2019[43]) stützen. Insbesondere die Kupferverunreinigung im Stahlschrott schränkt das hochwertige Recycling ein.

Kasten 3.6 Stahlunternehmen mit Netto-Null-Zielen und EU-Initiativen

In der Stahlindustrie gibt es branchenweite und unternehmensspezifische Initiativen, um Klimaneutralität zu erreichen. Mehrere Stahlunternehmen in der EU haben Pläne, mit der Einführung von H-DR zu beginnen, darunter Salzgitter, SSAB, ThyssenKrupp und Voestalpine (Material Economics, 2019[43]). Unter den Unternehmen, die Netto-Null-Emissionen anstreben, sind ArcelorMittal, ThyssenKrupp, Acerinox und Posco. Die Unternehmen erwähnen technologische Hebel wie grünen Wasserstoff, direkte Reduktion und erneuerbaren Strom. Auch der Einsatz von CCUS wird erwähnt, um bestehende Anlagen in Betrieb zu halten und so das Risiko verlorener Investitionen zu verringern und kürzerfristige Fortschritte zu erzielen. Um diese Ziele zu erreichen, betonen die Unternehmen die Bedeutung der Bereitstellung erschwinglicher sauberer Energie, einer Infrastruktur für die Kreislaufwirtschaft, nachhaltiger Finanzmittel für die Entwicklung einer klimaneutralen Stahlerzeugung und weltweit gleicher Wettbewerbsbedingungen (Acerinox, 2021[61]; ArcelorMittal, 2021[62]; Posco, 2021[63]; ThyssenKrupp, 2020[64]).

Das EU-Programm Ultra Low Carbon Steel (ULCOS) ist eine kooperative F&E-Initiative für Lösungen zur Reduzierung von CO₂-Emissionen in der Stahlproduktion zwischen der Europäischen Kommission, großen EU-Stahlunternehmen und anderen Forschungspartnern (Quader et al., 2016[65]). Eine der untersuchten Technologien ist das Hisarna-Verfahren, bei dem ein konzentrierteres CO₂-Abgas entsteht als bei BF-BOFs, was die Kohlenstoffabscheidung erleichtert. Das Hisarna-Verfahren könnte auch in der Nähe bestehender Stahlwerke installiert werden, müsste aber mit Kohlenstoffabscheidung und -speicherung (CCS) eingesetzt werden. Es würde die bestehenden Lieferketten und Arbeitskräfte nicht unterbrechen (Bataille, 2020[56]).

In Schweden wurde 2016 in Zusammenarbeit mit SSAB ein Hydrogen Breakthrough Ironmaking Technology (HYBRIT) Projekt gestartet. Das schwedische HYBRIT-Wasserstoff-DR-EAF-Projekt nutzt Wasserstoff, der durch Elektrolyse mit fossilfreiem Strom erzeugt wird, um primäre Eisenerzpellets herzustellen. Die Strompreise sind ein wichtiger Produktionskostenparameter (Pei et al., 2020[66]). Das Projekt lieferte seinen ersten kohlenstofffreien Stahl im August 2021 an Volvo (SSAB, 2021[67]). Obwohl die Mengen noch gering sind, plant SSAB, die Produktion bis 2026 auf ein industrielles Niveau anzuheben. Das Unternehmen plant außerdem, bis 2025 eine Produktionsanlage in Schweden umzubauen.

In Deutschland unterstützt ArcelorMittal dieses Ziel durch den Betrieb einer Wasserstoff-DR-AEF-Anlage in Hamburg. Mit teilweiser Finanzierung durch die deutsche Regierung baut das Unternehmen eine Demonstrationsanlage im kommerziellen Maßstab, die entweder grünen Wasserstoff

und Kohlenmonoxid oder reinen grünen Wasserstoff für die Direktreduktion verwendet (ArcelorMittal, 2021[68]).

Andere Projekte zur Herstellung von grünem Stahl unter Verwendung von reinem grünem Wasserstoff anstelle von Erdgas, die derzeit in Europa entwickelt werden, sind GrInHy und SALCOS-MACOR von Salzgitter in Deutschland sowie SuSteel und H2Future von Voestalpine in Österreich. ThyssenKrupp plant, sein Duisburger Werk in Deutschland auf die Produktion von Stahl mit Wasserstoff umzustellen.

Eine vielversprechende Alternative zu Wasserstoff ist die Nutzung von Elektrizität zur Reduktion von Eisenerz durch Elektrolyse. Diese Methode wird von Boston Metal in Massachusetts und dem Luxemburger Unternehmen Arcelor Mittal erforscht (Fennell et al., 2022[69]).

Quelle: (OECD, 2023[42]).

Kupferherstellung

Kupfer ist ein unverzichtbares Metall für die Dekarbonisierung. Mit seiner hohen elektrischen Leitfähigkeit und Korrosionsbeständigkeit spielt es eine wichtige Rolle bei der Elektrifizierung, dem Einsatz erneuerbarer Energien und der Produktion von Elektroautos. Die weltweite Kupfernachfrage könnte sich aufgrund dieser Anforderungen und aufgrund des Einkommenswachstums bis 2050 gegenüber dem Niveau von 2010 verdreifachen (Elshkaki et al., 2016[70]).

70 % der gesamten Treibhausgasemissionen aus der gesamten Wertschöpfungskette der Kupferproduktion entstehen im Bergbau, 23 % beim Schmelzen und Raffinieren, einer Aktivität, die in Hamburg durchgeführt wird, und 7 % beim Transport und dem Recycling der verkauften Produkte (International Copper Association, 2023[71]). Dies spiegelt sich in den hohen Scope-3-Emissionen der Primärkupferproduktion in Hamburg wider (Kasten 3.7). Weitere negative Auswirkungen des Kupferbergbaus und der Kupferverarbeitung auf die Umwelt sind Wasserverschmutzung, Bodenverunreinigung und die Beeinträchtigung von Ökosystemen. Diese Auswirkungen sind zwar weniger weitreichend als bei der Eisenverarbeitung, könnten aber bei Kupfer bis 2060 besonders stark zunehmen, wenn man die jüngsten Trends in der Politik und der wirtschaftlichen Entwicklung berücksichtigt (OECD, 2019[49]).

Praktiken der Kreislaufwirtschaft können erheblich dazu beitragen, Scope-3-Emissionen und andere Umweltauswirkungen entlang der Wertschöpfungskette zu reduzieren, insbesondere beim Kupferabbau. Die Kupferproduktion aus recycelten Materialien (Sekundärproduktion) verursacht nur 35 % des Kohlenstoff-Fußabdrucks, der bei der Verwendung von Rohstoffen aus Kupferminen („Primärproduktion“) entsteht (Grimes, Donaldson and Grimes, 2015[72]). Die gesamten Umweltauswirkungen von Sekundärkupfer betragen nur 1/8 des Verfahrens der Primärkupferproduktion. Daraus ergeben sich Initiativen zur Verbesserung der Sortiermethoden, zur Steigerung der Produktionsausbeute, zur Verlängerung der Lebensdauer der Produkte und zur effizienteren Nutzung der vorhandenen Kupferbestände (Watari et al., 2022[73]). Derzeit werden 50 % der Kupferprodukte recycelt, und 30 % des weltweiten Kupferbedarfs wird durch recycelte Rohstoffe gedeckt (OECD, 2019[49]). Selbst eine Recyclingquote von 100 % wird bis 2050 nicht ausreichen, um den Bedarf an Primärmaterial zu decken (Hund et al., 2023[74]).

Die Energieintensität ist sowohl bei der Primär- als auch bei der Sekundärproduktion hoch. Ein Mix aus Elektrifizierung, grünem Wasserstoff und Ammoniak, das aus grünem Wasserstoff hergestellt wird, sowie die Wiederverwendung von Abwärme können den Energieverbrauch dekarbonisieren. Die Energiedichte von Ammoniak, das emissionsfrei aus grünem Wasserstoff hergestellt wird, ist höher als die von

Wasserstoff selbst (Valera-Medina et al., 2018[75]) und dient daher zur Erreichung höherer Prozesstemperaturen (The Royal Society, 2021[76]). Das geplante Ammoniak-Terminal kann den Wettbewerbsvorteil der Hamburger Wirtschaft erhöhen. Auch die Strompreise werden eine wichtige Determinante für die Wettbewerbsfähigkeit sein.

Wie bei der Stahlindustrie entstehen die CO₂-Emissionen des Verfahrens durch den Einsatz von Erdgas im Reduktionsprozess. Wasserstoff kann als Ersatz für Erdgas als Reduktionsmittel sowohl in der Primär- als auch in der Sekundärproduktion dienen. Wasserstoff kann der Schmelze von Kupfermineralien Sauerstoff entziehen, wodurch Wasserdampf anstelle von CO₂ entsteht (Luidold and Antrekowitsch, 2007[77]). Treibhausgasemissionen entstehen auch bei der Separation organischer Chemikalien aus sekundären Kupfermaterialien (Chen et al., 2019[78]). Diese Verfahren beinhalten die komplizierte Separation von mehr als 50 Materialien mit jeweils unterschiedlichen thermodynamischen und metallurgischen Eigenschaften aus einem einzigen Produkt (IEA, 2021[79]). Die Kohlenstoffabscheidung und -speicherung (CCS) kann dazu beitragen, die sekundäre Produktion zu dekarbonisieren, bei der CO₂ bei der Separation von Kupfer von anderen Materialien, wie Kunststoffen, erzeugt wird.

Kasten 3.7 Die Dekarbonisierungsstrategie der Aurubis AG in Hamburg

Aurubis ist ein metallverarbeitendes Unternehmen mit Hauptsitz in Hamburg und auf die Herstellung von Kupferkathoden und verwandten anderen Kupferprodukten an mehreren Produktionsstandorten spezialisiert. Im Jahr 2021 meldete Aurubis 559.000 Tonnen Scope-1-Emissionen, 1.047.000 Tonnen Scope-2-Emissionen und 6.181.000 Tonnen Scope-3-Emissionen an seinen Standorten. Von den Scope-1-Emissionen stammten 165.000 Tonnen aus den Hamburger Werken. Der Hamburger Standort von Aurubis nimmt innerhalb des Konzerns eine Vorreiterrolle bei der Dekarbonisierung ein und führt Forschung und Entwicklung für den Konzern durch.

Aurubis arbeitet an der Dekarbonisierung seiner Wertschöpfungskette und hat sich zum Ziel gesetzt, die Scope-1- und Scope-2-Emissionen bis 2030 um 50 % zu reduzieren. Aurubis baut seine langfristigen Vereinbarungen zur Stromabnahme mit Energieunternehmen aus, die einen hohen Anteil an erneuerbaren Energien in ihrem Portfolio haben. Darüber hinaus erzeugt Aurubis seinen eigenen Strom durch Solaranlagen vor Ort und nutzt Abwärme zur Stromerzeugung. Die Abwärme spielt auch eine Rolle bei der Versorgung mit Wärme und Prozessdampf sowie bei der Fernwärmeversorgung von Gebäuden in Hamburg.

Unterstützt durch die Wasserstoffversorgungsstrategie der Bundesregierung hat Aurubis Versuche durchgeführt, Erdgas durch Wasserstoff als Reduktionsmittel in Anodenöfen zu ersetzen. Die Verwendung von Ammoniak in Stabwerken wird auch im Rahmen einer Wasserstoffkooperation zwischen Deutschland und den Vereinigten Arabischen Emiraten (VAE) erprobt. In der Anfangsphase des Produktionsprozesses soll ein Versuch mit der Mitverbrennung von Ammoniak für sechs bis acht Wochen in diesem Jahr 20 % des Brennstoffs Erdgas ersetzen.

Um die Scope-3-Emissionen zu reduzieren, strebt Aurubis einen Anteil an recyceltem Material an. Sein Hamburger Werk ist auf das Recycling von Rohstoffen spezialisiert. Im Jahr 2022 hat Aurubis beschlossen, 190 Mio. Euro in die Verbesserung des Recyclings im Hamburger Recyclingbetrieb zu investieren. Aurubis schließt den Materialkreislauf durch Kundenkooperationen und Produktmarketing. Das Unternehmen bietet seinen Kunden maßgeschneiderte Lösungen für das Recycling von Kupfer und anderen Metallen an. Dazu gehört der Rückverkauf von Altkupfer an Aurubis und der Erhalt von raffiniertem Kupfer im Gegenzug.

Quelle: (Aurubis AG, 2023[80]); (Carbon Disclosure Project, 2022[81]).

Dekarbonisierung von Aluminium

Die Nachfrage nach Aluminium könnte steigen, da es andere Materialien ersetzen kann, um das Gewicht und damit den Energieverbrauch zu reduzieren (Pedneault et al., 2021[82]). Wenn beispielsweise Stahl durch Aluminium ersetzt wird, sinkt der Energieverbrauch von Autos, was ein wichtiger Aspekt für eine nachhaltigere Automobilproduktion ist. Bei der Aluminiumproduktion hat die Primärproduktion aus abgebauten Rohstoffen im Durchschnitt einen zwanzigmal höheren Treibhausgasausstoß als die Sekundärproduktion aus Schrott. Die sekundäre Aluminiumproduktion hat auch generell einen geringeren ökologischen Fußabdruck und einen viel geringeren Energieverbrauch. (Liu and Müller, 2012[83]; Liu, Bangs and Müller, 2013[84]). Primär- und Sekundäraluminium lassen sich mit den gegebenen Anlagen nicht ersetzen. Die Aluminiumproduktion in Hamburg besteht ausschließlich aus Primäraluminium.

Die Sekundäraluminiumproduktion macht mehr als die Hälfte der weltweiten Aluminiumproduktion aus. Aluminium ist quasi unbegrenzt wiederverwertbar. Die Verfügbarkeit von Schrott schränkt das Recycling jedoch immer noch ein, was auf die lange Produktlebensdauer und die kurze Geschichte der Massenproduktion von Aluminium zurückzuführen ist (IAI, 2021[85]). Strategien für eine Kreislaufwirtschaft müssen auch die Verunreinigung von Legierungen beim Recycling überwinden und die Verluste bei der Verarbeitung und Herstellung weiter reduzieren (Pedneault et al., 2021[82]).

Die Hersteller von Primäraluminium sind große Stromverbraucher (IEA, 2020[60]). Der Strompreis ist daher ein wichtiger Einflussfaktor für die Produktionskosten. Das Hamburger Aluminiumwerk berichtet, dass es flexibel auf die fluktuierende Versorgung mit erneuerbarer Energie reagieren kann. Die Aluminiumproduktion würde daher von der Differenzierung der Strompreise profitieren, sodass ihre positive Rolle für die Systemstabilität gewürdigt werden kann. Dennoch benötigt die Aluminiumproduktion auch ein gewisses Maß an Grundlaststrommengen, um die Kontinuität der Produktion zu gewährleisten, die durch Offshore-Windkraftanlagen bereitgestellt werden könnten. Der Umfang, in dem die Strompreise die Netzkosten berücksichtigen müssen, könnte entscheidend sein. Angesichts des hohen Strombedarfs und des hohen Anteils von Kohle an der deutschen Stromversorgung sind die Scope-2-Emissionen in der Hamburger Aluminiumproduktion etwa dreimal so hoch wie die Scope-1-Emissionen. Zu den Scope-3-Emissionen liegen keine Informationen vor.

Klimaneutrale Technologien, insbesondere das Schmelzen mit inerten Anoden, müssen in den nächsten zwei Jahrzehnten eine signifikante Marktdurchdringung erreichen (Liu, Bangs and Müller, 2013[84]) und sind in Hamburg noch nicht im Einsatz. Das Ersetzen von Kohlenstoffanoden durch inerte Anoden eliminiert direkte Emissionen, einschließlich der Prozessemissionen (IAI, 2021[85]). Auf diese Weise wird CCS überflüssig. Der Strombedarf für das Schmelzen mit inerten Anoden könnte 50 % höher sein als für das derzeitige Verfahren (Pedneault et al., 2021[82]), auch wenn dieser Wert mit der technologischen Entwicklung sinken könnte. Darüber hinaus ist das Risiko verlorener Investitionen beträchtlich, da derzeit unklar ist, ob eine Nachrüstung bestehender Anlagen, die eine wirtschaftliche Lebensdauer von mindestens 20 Jahren haben, überhaupt möglich ist (Pedneault et al., 2021[82]).

Beschäftigungseffekte der Dekarbonisierung von Grundmetallen

Die Beschäftigung in der Herstellung von Grundmetallen, einschließlich Aluminium, Kupfer und Stahl, in der EU-27 könnte nach dem Szenario des Europäischen Green Deal (EGD) des Cedefop bis 2030 leicht ansteigen (Cedefop, 2021[86]). Das Modell ENV Linkages der OECD kommt zu dem Ergebnis, dass die Auswirkungen der politischen Maßnahmen auf die Dekarbonisierung bis 2040 in den OECD-Ländern

und den meisten EU-Ländern zu einem leichten Rückgang der Beschäftigung im Aluminiumsektor und einem leichten Anstieg im Stahlsektor führen werden, wobei die großen EU-Länder einige Arbeitsplätze verlieren könnten.

Die dekarbonisierte Stahlproduktion könnte ein erhebliches Beschäftigungspotenzial bieten, insbesondere für Hochschulabsolventen in den Bereichen Wissenschaft, Technologie, Ingenieurwesen und Mathematik (University of Cambridge Institute for Sustainability Leadership (CISL), 2020[87]). Im Rahmen der Umstellung auf die Kreislaufwirtschaft werden von den Arbeitnehmern starke digitale Fähigkeiten sowie ein Verständnis für Umweltmanagement und Kenntnisse zur Unterstützung von Geschäftsmodellen mit Kreislaufwirtschaft erwartet (University of Cambridge Institute for Sustainability Leadership (CISL), 2020[87]). Eine große Herausforderung für den Sektor ist die alternde Erwerbsbevölkerung, die die Erneuerung von Qualifikationen und die Übernahme grüner Fertigkeiten verlangsamen könnte.

Ölraffinerien

Raffinierte Erdölprodukte haben zwei Verwendungszwecke: die energetische Nutzung (Kraftstoffe) und die nichtenergetische Nutzung (Rohmaterial oder Ausgangsmaterial für petrochemische Produkte). Die direkten Emissionen aus der Herstellung raffinierter Erdölprodukte gehören im Verhältnis zur Wertschöpfung zu den höchsten in allen Sektoren des verarbeitenden Gewerbes, aber die Scope-3-Emissionen, insbesondere aus der Verwendung von Ölendprodukten, sind wesentlich höher als die direkten Emissionen (Jing et al., 2020[88]). Mit der Elektrifizierung des Straßenverkehrs wird die weltweite Nachfrage nach Heizölprodukten stark zurückgehen (IEA, 2021[89]).

Dort, wo Elektrizität die Energie aus fossilen Brennstoffen nicht ersetzen kann, werden neue Kraftstoffe, darunter Biokraftstoffe, Wasserstoff und synthetische Kraftstoffe, Erdöl ersetzen. Von diesen kann nur die Produktion von Biokraftstoffen auf bestehenden Ölraffinerieanlagen basieren. Ölraffinerien, die in Biokraftstoffanlagen umgewandelt werden, können die Strandung von Vermögenswerten reduzieren und die Kapitalkosten der Biokraftstoffproduktion senken (Karka, Johnsson and Papadokonstantakis, 2021[90]). Weitere Vorteile sind die Nutzung gemeinsamer Infrastrukturen, z. B. für den Transport, und logistischer Netzwerke der Ölraffinerie-Infrastruktur.

Die Nachfrage nach Erdölprodukten als Rohstoff, z. B. zur Herstellung von Kunststoffen, könnte dagegen noch einige Zeit lang weltweit steigen. Insgesamt erwartet die IEA (2021[89]) in einem Netto-Null-Emissionsszenario einen Rückgang der weltweiten Ölnachfrage um etwa 70 % bis 2050, geht aber immer noch davon aus, dass im Jahr 2050 auf globaler Ebene eine bestimmte Menge an Öl gefördert wird. Dennoch könnte die Erfüllung des EU-Klimaneutralitätsziels den Einsatz fossiler Brennstoffe selbst als Rohstoff bis 2050 erheblich reduzieren, insbesondere wenn CCS vermieden wird. Dies könnte auch die petrochemische Produktion in Hamburg betreffen (Kasten 3.8).

Ein möglicher Ersatz ist der Einsatz von Biokraftstoffen. Grüner Wasserstoff in Kombination mit Kohlenstoffabscheidung und -nutzung (CCU) zur Herstellung synthetischer Kohlenwasserstoffkraftstoffe sowie chemisches Kunststoffrecycling können Alternativen sein, sind aber energieintensiv. Ein weiterer möglicher Ersatz ist Biokraftstoff. Für Biokraftstoff wird wahrscheinlich eine hohe Nachfrage als Rohstoff und Kraftstoff bestehen. Seine Produktion wird mit anderen Flächennutzungen konkurrieren, insbesondere mit der Nahrungsmittelproduktion, dem Schutz der Artenvielfalt und den Kohlenstoffsenken. Seine nachhaltige Beschaffung ist für die Klimaneutralität notwendig. Die Nachfrage nach Biomasse könnte daher das nachhaltige Angebot deutlich übersteigen. Für nachhaltige Biokraftstoffe wird es unvermeidliche vorrangige Verwendungen geben. Dazu gehört die Verwendung als Flug- und

Schiffskraftstoffe sowie Rohstoffe für die Herstellung von Petrochemikalien und Kunststoffen oder faserhaltigen Ersatzstoffen für Kunststoffprodukte (Material Economics, 2019[43]).

Nach Angaben des EU ETS gibt es in Hamburg sechs Erdö Raffinerien. Der Großteil der Emissionen entsteht bei der Herstellung von Dieselmotorkraftstoff, der keiner vorrangigen Verwendung dient. Wenn diese Produktion nicht zur Herstellung von Biokraftstoffen umgewidmet werden kann, wird die Produktion im Zuge des Übergangs zur Klimaneutralität wahrscheinlich eingestellt werden. Das Verfahren zur Herstellung von Biokraftstoffen ist bisher besonders stark in Ländern mit hohem Biokraftstoffproduktionspotenzial, so in Brasilien oder Schweden. Dies deutet darauf hin, dass die Verarbeitung von Biokraftstoffen in Hamburg keine große Rolle spielen dürfte. Andererseits hängt Hamburgs Wirtschaft von Sektoren ab, in denen Biokraftstoffe vorrangig eingesetzt werden, vor allem im Verkehrswesen und bei der Herstellung verschiedener petrochemischer Produkte (Kasten 3.8).

Kasten 3.8 Dekarbonisierung der Ö Raffinerien: das Beispiel von Hywax in Hamburg

Hywax in Hamburg stellt Wachse, Vaseline und Wachsemissionen für verschiedene Produkte her, wie Dämmstoffe, Kosmetika, beschichtetes Papier, Klebstoffe für Pappe, Lebensmittel usw. Bei den verwendeten Rohstoffen handelt es sich größtenteils um Nebenprodukte aus dem Raffinieren von Erdöl und insbesondere aus der Herstellung von Grundölen, die z. B. für Motorenöle verwendet werden. Hywax in Hamburg ist eines der führenden Unternehmen in der Wachsproduktion in Europa. Es beschäftigt etwa 350 Mitarbeiter und ist ein wichtiger Wirtschaftszweig für den Hafen. Täglich wird etwa ein Schiff (Lastkähne und größere Schiffe) mit Wachsen beladen.

Früher stellte Hywax seine Endprodukte zu 99 % aus Rohstoffen her, die aus Erdöl gewonnen wurden. Heutzutage werden 70–80 % der Rohstoffe aus Rohöl gewonnen, der Rest sind natürliche und synthetische Wachse. Die Wachse werden dann in Tanks bei hohen Temperaturen (60–80 °C) gelagert, damit sie flüssig bleiben.

Hywax will durch drei Hauptmaßnahmen **bis 2040 klimaneutral** werden:

1. **Optimierung:** Das Unternehmen plant, ältere Tanks und Leitungen durch neuere, besser isolierte zu ersetzen, um den Wärmeverlust zu verringern. Außerdem plant es, in neuere, energieeffizientere Maschinen zu investieren.
2. **Elektrifizierung:** Das Unternehmen plant die Umstellung von Erdgas (das hauptsächlich in einem Blockheizkraftwerk zur Erzeugung von Dampf und Strom verwendet wird) auf a) Wärmepumpen zur Bereitstellung von Wärme für die Wachsproduktion und -lagerung und b) die externe Beschaffung von Strom aus erneuerbaren Energien als Hauptenergiequelle.
3. **Nutzung von fluktuierenden erneuerbaren Energien:** Da das Wachs pro Tag nur etwa 1 °C an Temperatur verliert, wenn die Tankheizung unterbrochen wird, ist die Variabilität der erneuerbaren Energiequellen kein Problem, sondern eine Chance. In Zeiten hoher Verfügbarkeit erneuerbarer Energien kann das Wachs in den Lagertanks auf bis zu 95 °C erhitzt werden. Die Wachsproduktion ist also gut aufgestellt, um von der kostengünstigen, intermittierenden Versorgung mit erneuerbaren Energien zu profitieren.

Für eine vollständig klimaneutrale Wachsproduktion müssen die Ausgangsstoffe jedoch weiter durch natürliche und synthetische Wachse ersetzt werden. Bei synthetischen Wachsen besteht die Möglichkeit, „grünen“ Wasserstoff mit Kohlenstoffabscheidung und -nutzung (CCU) zu

kombinieren. Das Verfahren ist ähnlich wie bei der Herstellung von synthetischem, nachhaltigem Flugbenzin (SSAF).

Quelle: (OECD/Hywax, 2023[91]).

Beschäftigungseffekte der Dekarbonisierung der Ö Raffinerien

Es ist ein erheblicher Rückgang der Beschäftigung zu erwarten. Nach dem Szenario des Cedefop zum European Green Deal (EGD) wird die direkte Beschäftigung in der Herstellung von Kraftstoffen in der EU-27 bis 2030 um etwa 10 % zurückgehen (Cedefop, 2021[86]). Dies kommt zu dem bereits im Basisszenario des Cedefop erwarteten Rückgang von 4 % in diesem Sektor hinzu. Nach 2030 wird mit einem wesentlich stärkeren Rückgang gerechnet, da die Tätigkeit schrittweise eingestellt werden muss.

Eine Studie über die Übertragbarkeit von Qualifikationen in der britischen Offshore-Energiebranche hat ergeben, dass Soft Skills, unternehmerische Fähigkeiten und andere nichttechnische Fähigkeiten im Ölssektor in der Regel sehr gut auf benachbarte Sektoren der sauberen Energie wie Offshore-Windkraft, Kohlenstoffabscheidung und -speicherung, Wasserstoff oder andere Industriesektoren übertragbar sind (de Leeuw and Kim, 2021[92]). Allerdings sind Schulungen und Weiterbildungen für den Übergang erforderlich.

Wichtige Maßnahmen

Sofortmaßnahmen

- Unternehmen sollten langlebige Anlagegüter auf eine Weise ersetzen, die mit der Klimaneutralität vereinbar ist.
- Die Handelskammer könnte versuchen, breite internationale Allianzen für die Besteuerung des ökologischen Fußabdrucks in der Grundstoffproduktion zu unterstützen und diese über die EU hinaus auszuweiten.
- Eine Bilanzierung der Scope-3-Emissionen sollte bereitgestellt und in die Klimaneutralitätsziele und Maßnahmenpläne aller Hamburger Grundstoffproduzenten aufgenommen werden.
- Die HK könnte gemeinsam mit den wichtigsten Unternehmen die Auswirkungen der Transformation in der verarbeitenden Industrie, insbesondere in den Ö Raffinerien, auf die Beschäftigung und die Qualifikation der Arbeitnehmer bewerten und Maßnahmen zur Erhaltung attraktiver Beschäftigungsperspektiven für die betroffenen Arbeitnehmer ermitteln.

Bis 2030

- Die wichtigsten Unternehmen der Grundstoffindustrie sollten Strategien für eine Kreislaufwirtschaft zur Dekarbonisierung der Wertschöpfungsketten entwickeln.
- Die Handelskammer und die Schlüsselunternehmen der Grundstoffindustrie könnten die wichtigsten Determinanten für eine klimaneutrale Produktion in Hamburg bewerten, einschließlich der Kosten für Wasserstoff und Strom.

Bis 2040

- Die Schlüsselunternehmen der Grundstoffindustrie sollten die direkten Emissionen in den Hamburger Produktionsstätten weitgehend eliminieren und den Rest durch den Kauf von Emissionsgutschriften ausgleichen.

Das Potenzial für Hamburg als Zentrum für grünen Wasserstoff ist groß

Grüner Wasserstoff ist ein unverzichtbares Werkzeug zur Verringerung der Emissionen in allen Sektoren, die schwer zu elektrifizieren sind (IRENA, 2020[93]) (IEA, 2023[94]) (IEA, 2022[95]). Mehrere davon sind in Hamburg vertreten, darunter die Stahl- und Kupferproduktion. Wasserstoffbasierte Kraftstoffe für die Schifffahrt sind für Hamburg ebenfalls von besonderer Bedeutung. Die Wasserstoffstrategie der Europäischen Union (European Commission, 2022[96]) sowie RePowerEU (European Commission, 2022[97]) sehen grünen Wasserstoff als ein wichtiges Instrument zur Senkung der CO₂-Emissionen an, ebenso wie die deutsche nationale Wasserstoffstrategie und die Wasserstoffstrategie für Norddeutschland (Federal Ministry for Economic Affairs and Energy, 2020[98]).

Als ein wichtiger europäischer Industriehafen hat Hamburg einen komparativen Vorteil. Die IEA unterstreicht die zentrale Rolle, „Industriehäfen zu Nervenzentren für die verstärkte Nutzung von sauberem Wasserstoff zu machen“ (IEA, 2019[99]). Hamburgs strategischer Plan sieht vor, sich zu einem bedeutenden Hub für grünen Wasserstoff in der Nordseeregion zu entwickeln (Kasten 3.9), wobei mehrere Branchen in der Region bereits eine starke Neigung zur Beschaffung von grünem Wasserstoff zeigen (Future Hamburg, 2022[100]).

Kasten 3.9 Das Hamburger Zentrum für grünen Wasserstoff

Deutsche grüne Wasserstoffinitiative

Die von der Norddeutschen Industrie- und Handelskammer ins Leben gerufene grüne Wasserstoffinitiative, an der neben Hamburg auch Bremen, Schleswig-Holstein, Mecklenburg-Vorpommern und Niedersachsen beteiligt sind, wird zunächst mit 9 Mrd. Euro gefördert. Sie zielt darauf ab, Norddeutschland zur stärksten Region für grünen Wasserstoff in Europa zu machen. In der Nähe des Hamburger Hafens versammelt das Helmholtz-Zentrum Wissenschaftler, die an einer neuartigen Speicheranlage für Wasserstoff arbeiten.

Wasserstoffverbund Hamburg

Der „Wasserstoffverbund Hamburg“, bestehend aus Airbus, Arcelor Mittal, Gasnetz Hamburg, GreenPlug, Hamburger Hafen und Logistik AG, Hamburger Hafenbehörde und dem Green Hydrogen Hub (Luxcara und Wärme Hamburg), entwickelt Projekte zur Nutzung von grünem Wasserstoff. So hat Airbus angekündigt, bis 2035 wasserstoffbetriebene Flugzeuge kommerziell anzubieten; Arcelor Mittal plant, ab 2024 rund 100.000 Tonnen Eisenschwamm pro Jahr für die Stahlproduktion mit Wasserstoff zu produzieren, und die Hamburger Hafen und Logistik AG will auf ihren Terminals und im Last-Mile-Containerverkehr schwere Fahrzeuge mit Wasserstoff-Brennstoffzellen einsetzen.

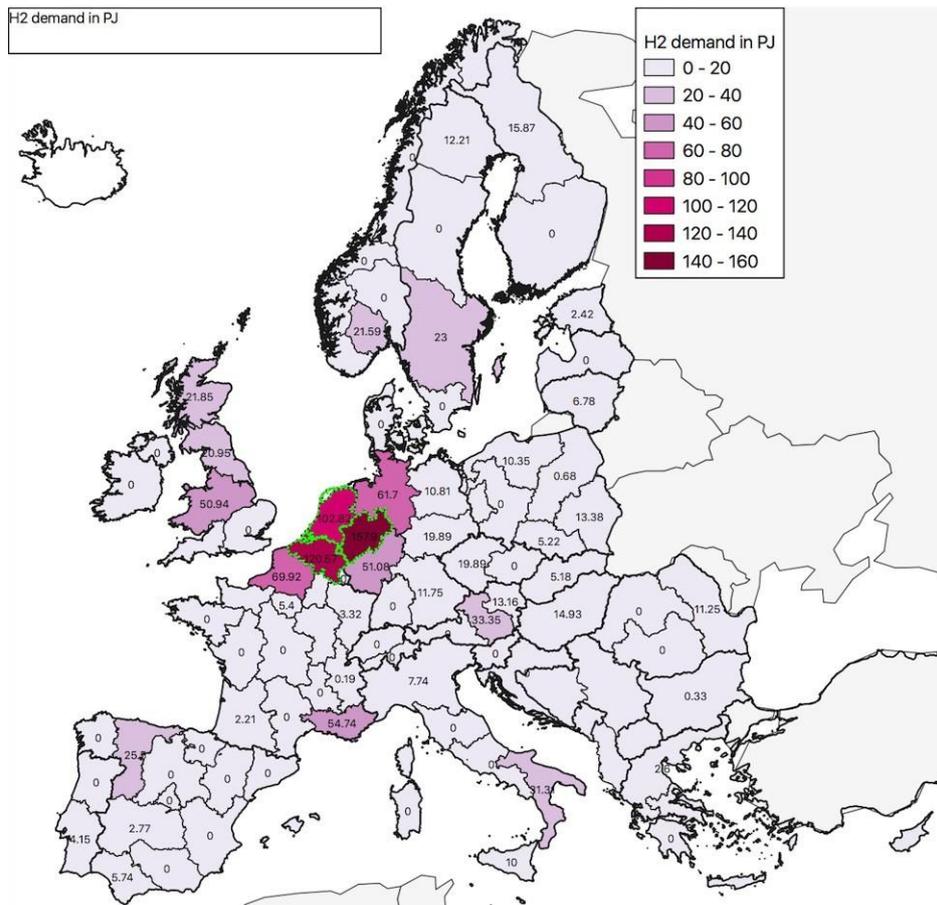
Quelle: (Hamburg Invest, 2022[101]) (Hamburgnews, 2020[102]) (Future Hamburg, 2022[100]) (Future Hamburg, 2022[103]) (HHLA, 2022[104]).

Hamburg kann dazu beitragen, die Wasserstoffnachfrage über seine Grenzen hinaus zu befriedigen

Die weltweite Wasserstoffnachfrage könnte selbst im Szenario der IEA mit den angekündigten Zusagen bis 2031 um rund 50 % steigen. Die angekündigten Zusagen müssen verstärkt werden, um die Klimaziele des Übereinkommens von Paris zu erreichen, was die Wasserstoffnachfrage weiter erhöhen dürfte. Im Industriesektor kommt die Nachfrage hauptsächlich aus der Chemie- und Stahlindustrie (IEA, 2022[95]). Da es in Hamburg eine Stahl- und Kupferproduktion sowie verschiedene petrochemische Betriebe in der Öltraffinerieindustrie gibt, ist mit einer erheblichen Nachfrage nach grünem Wasserstoff zu rechnen. Wasserstoffbasierte Kraftstoffe, einschließlich Ammoniak, bieten Potenzial für die Seeschifffahrt. Im Schwerlastverkehr auf der Straße könnten Wasserstoff-Brennstoffzellenfahrzeuge eine Option sein, vor allem für den Schwerlastverkehr über große Entfernungen, auch wenn elektrische Lösungen aufgrund ihrer geringeren Kosten wahrscheinlich vorherrschend sein werden. Dies gilt insbesondere für Hamburg, wo die Schiene den größten Teil des Langstreckentransports vom und zum Hafen übernimmt. Deutschland hat mit der Erprobung von Brennstoffzellenzügen begonnen und arbeitet an einem Projekt zur Integration von Wasserstoff in die Luftfahrt.

Die Deckung des lokalen Wasserstoffbedarfs erfordert eine Infrastruktur für den Transport, die Speicherung und Verarbeitung von Wasserstoff. Diese Infrastruktur unterliegt Skaleneffekten. Die Stückkosten können bei höherer Nachfrage niedriger sein. Das Potenzial des Hafens könnte daher als Drehscheibe für die Nutzung von Wasserstoff über den lokalen Bedarf hinaus dienen. Hamburg liegt in der Nähe regionaler industrieller Zentren mit großem Bedarf an grünem Wasserstoff. Abbildung 3.11 veranschaulicht die projizierte räumliche Verteilung der Wasserstoffnachfrage im Jahr 2050, wenn die derzeitigen Produktionsstandorte beibehalten werden. In den nahe gelegenen Regionen Belgiens, der Niederlande und Nordrhein-Westfalens ist die Nachfrage nach grünem Wasserstoff mit mehr als 50 % der europäischen Nachfrage am höchsten, wenngleich sie auch von den Häfen Rotterdam, Antwerpen und Dunkerque bedient werden kann.

Abbildung 3.11 Räumliche Verteilung des Wasserstoffbedarfs für die Dekarbonisierung von Chemikalien und Stahlherstellung



Anmerkung: Geht von einer Entwicklung gemäß dem „New Processes“-Pfad aus (ENTSO-E, 2014[105]) Quelle: (OECD, 2023[42]).

Der meiste Wasserstoff wird importiert werden müssen

Deutschland ist führend bei der Entwicklung von Projekten zur Erzeugung von grünem Wasserstoff, aber sie reichen nicht aus, um den kurzfristigen Bedarf zu decken. Das größte ist das AquaVentus-Projekt, an dem Hamburg beteiligt ist (Kasten 3.10). Darüber hinaus hat Deutschland die Initiativen Power-to-X (International PtX Hub, 2023[108]) und H₂Global (H₂ Global Stiftung, 2023[109]) ins Leben gerufen, um Wissensplattformen zu schaffen, die Akteure aus Politik, Wirtschaft, Wissenschaft und Zivilgesellschaft zusammenbringen, um das Hochskalieren zu diskutieren. Power-to-X hilft dabei, Marktpotenziale und Finanzierungsmöglichkeiten zu identifizieren. Die Initiative organisiert Schulungen und technische Beratung, während H₂Global sich an der Entwicklung von Infrastrukturen zur Umwandlung von Strom in kohlenstoffneutrale Brennstoffe (Power-to-X, oder PtX), Marktmodellen und Lieferketten für grüne Produkte beteiligt. H₂Global ist ein wettbewerbsbasiertes Marktinstrument, das darauf abzielt, einen rechtzeitigen und effektiven Hochlauf des PtX-Marktes (Power-to-X) im industriellen Maßstab zu fördern.

Die prognostizierte installierte Kapazität reicht nicht aus, um die Nachfrage zu decken (Abbildung 3.12) (IEA, 2022[95]); daher wird der Import von grünem Wasserstoff nach Hamburg unerlässlich sein.

Kasten 3.10 Projekte zur Produktion von grünem Wasserstoff – ausgewählte Beispiele

AquaVentus-Projekt

Das AquaVentus-Projekt wird in der deutschen Nordsee entwickelt, um Strom aus Offshore-Windparks für den Betrieb von Elektrolyseuren zu nutzen, die in der Nordsee im industriellen Maßstab installiert sind. Ziel ist es, bis zum Jahr 2035 Elektrolyseeinheiten mit einer Gesamtkapazität von 10 GW zu errichten, was ausreicht, um 1 Million Tonnen grünen Wasserstoff zu produzieren.

Standort des Kraftwerks Moorburg

Der Standort des ehemaligen Kohlekraftwerks Moorburg zielt darauf ab, die gesamte Hafenwirtschaft dank eines 100-MW-Elektrolyseur-Projekts und der Umwandlung des Kohlekraftwerks im Moorburg-Viertel zu dekarbonisieren. Voraussichtlich kann das Projekt 2 Tonnen Wasserstoff pro Stunde produzieren. Der Standort Moorburg wird über ein Pipelinesystem mit den lokalen Unternehmen verbunden, um die großen Industrieunternehmen des Hafens zu versorgen: Das HH-WIN (Hamburger Wasserstoff-Industriernetz) wird 45 km lang sein und bis 2030 grünen Wasserstoff für die Stahl-, Kupfer- und Aluminiumindustrie liefern. Es wird auch an das nationale Hyperlink-Pipelinesystem angeschlossen sein.

Abbildung 3.12 Wasserstoff-Ziele von Deutschland

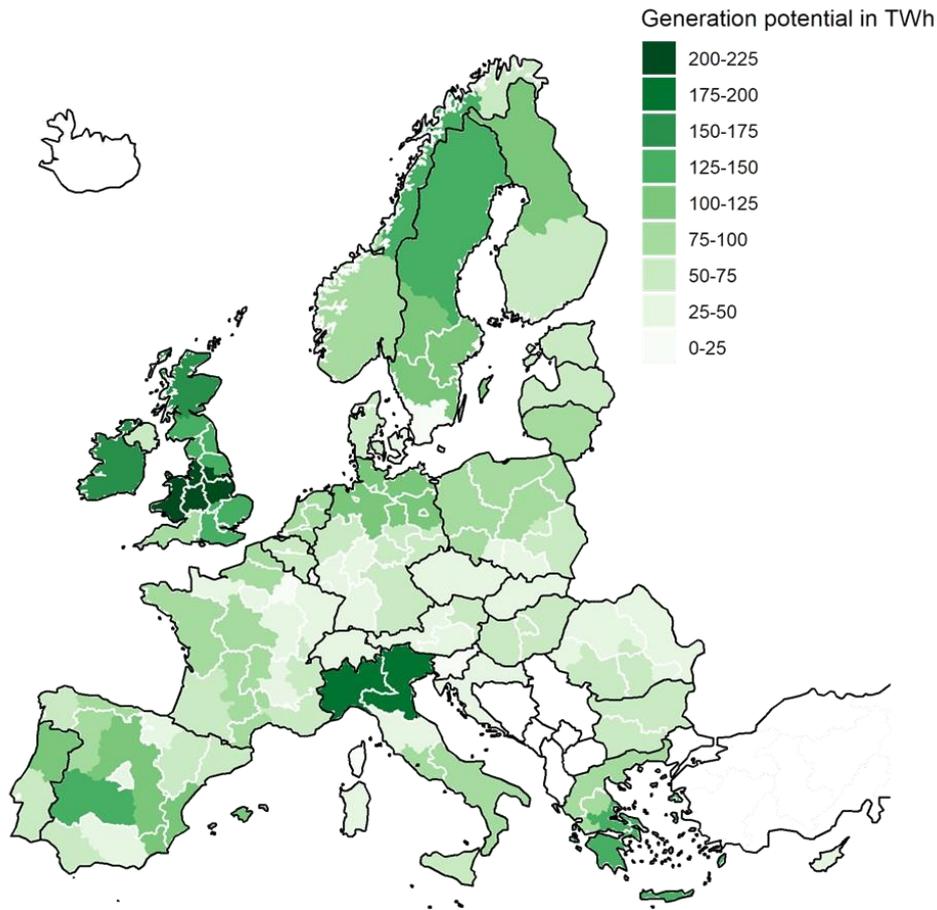
Sector		Target volume and time horizon
Renewable hydrogen production	Electrolysis capacity	5 GW (2030); 10 GW (2035 – 2040)
	Renewable hydrogen production	14 TWh/a (2030); 28 TWh/a (2035 – 2040)
	Renewable power consumption	20 TWh/a (2030); 40 TWh/a (2035 – 2040)
Overall demand	Hydrogen demand	55 TWh/a (2020); 90 – 110 TWh/a (2030)
	Power-based energy carrier consumption	110 – 380 TWh/a (2050)
	Hydrogen consumption in industry	55 TWh/a (2020); at least 65 TWh/a (2030)

Quelle: (Weltenergieerat, 2020[110]).

Die Produktion von grünem Wasserstoff erfordert eine große Menge an erneuerbaren Stromquellen (Solar-, Wind- oder Wasserkraft), die mehr als die Hälfte der Wasserstoffproduktionskosten ausmachen. Das Potenzial für die Erzeugung von Strom aus erneuerbaren Energiequellen ist in Norddeutschland zwar wesentlich größer als im Süden, aber selbst im Vergleich zu anderen europäischen Regionen bescheiden (Abbildung 3.13). Das geringere Potenzial an erneuerbarer Energieerzeugung erhöht die Kosten, die wahrscheinlich höher sind als die Kosten für importierten Wasserstoff (IRENA, 2022[111]).

Abgesehen vom Potenzial für Wind- und Solarenergie, das in den Ländern des Nahen Ostens und Afrikas am höchsten ist, hängen die Kosten für importierten Wasserstoff auch von weichen Faktoren wie der staatlichen Unterstützung und der politischen Stabilität ab. Spanien, Australien, Chile und Marokko zeichnen sich als Länder mit dem größten Potenzial aus, sich als Netto-Wasserstoff exportierende Nationen (IRENA, 2022[112]) zu etablieren. Der Import von grünem Wasserstoff aus diesen Ländern wird bis 2030 im Vergleich zur lokalen Produktion wirtschaftlich attraktiver sein (Hydrogeninsight, 2023[113]).

Abbildung 3.13 Technisches Potenzial für erneuerbare Elektrizität aus Wind- und Sonnenenergie variiert je nach Region



Anmerkung: Beinhaltet die bestehende Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien, auch aus anderen Quellen als Wind und Sonne, sowie das technische Potenzial von Sonne und Wind

Quelle: (OECD, 2023[42]).

Die Infrastruktur ist entscheidend für den Import von grünem Wasserstoff und die Schaffung eines Wasserstoff-Hubs

Da die Produktions- und Transportentfernungen voraussichtlich zunehmen werden, um die Nachfrage zu decken, muss die Entwicklung der Infrastruktur vorangetrieben werden, um Produktions-, Import- und Nachfragegebiete miteinander zu verbinden.

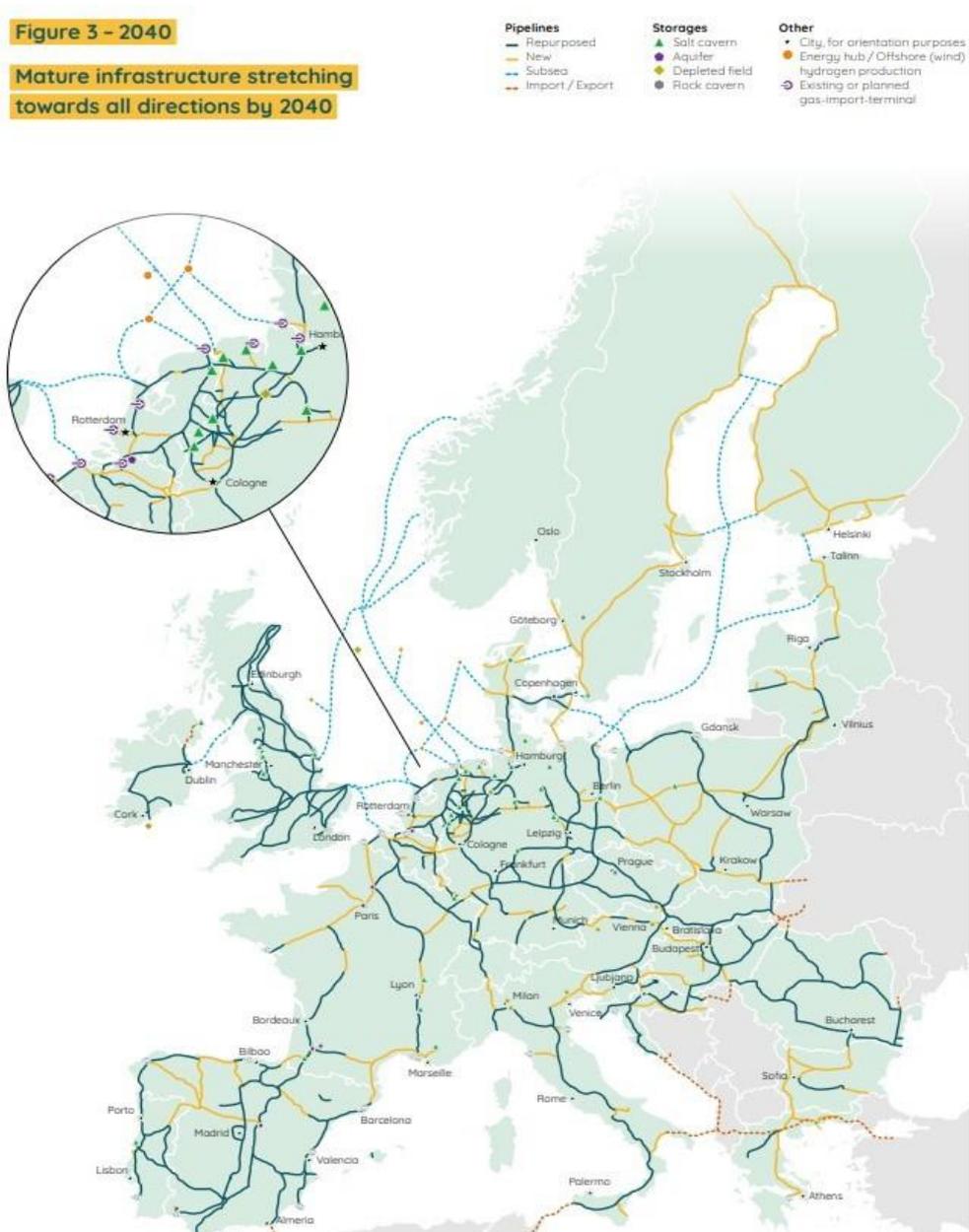
Die Umnutzung von Erdgasleitungen für den Transport von Wasserstoff kann die Investitionskosten im Vergleich zum Bau neuer Pipelines um 50–80 % senken (IEA, 2022[95]). Hamburg könnte Teil eines umgewidmeten Wasserstoffpipelinennetzes sein, das an nahegelegene Speicher angeschlossen ist (Abbildung 3.14). Die Umnutzung bestehender Erdgaspipelines kann jedoch über weite Strecken, in denen es keine Mehrfachleitungen gibt, eine Herausforderung darstellen. In diesem Fall kann dies nur geschehen, wenn das Erdgas nicht mehr gebraucht wird, was den Transport über große Entfernungen durch

bestehende Pipelines verzögern könnte. Dies würde die Bedeutung des Wasserstoffimports per Schiff erhöhen.

Zusätzliche Transport- und Speicherkapazitäten entlang des Pipelinenetzes werden notwendig sein, da die dreifache Menge an grünem Wasserstoff benötigt wird, um die gleiche Energiemenge wie Erdgas zu liefern. Neue Pipelines für Ammoniak (NH₃, flüssig) sind billiger als neue Pipelines für Wasserstoff (IEA, 2019[99]).

Im Mai 2023 hat das deutsche Kabinett einen Beschluss zur Schaffung eines nationalen Wasserstoff-Kernleitungsnetzes gefasst, der 2023 in Kraft treten soll (Collins, 2023[116]). Das Netz wird auf energieintensive Industrien ausgerichtet sein und alle Regionen Deutschlands verbinden. Die European Hydrogen Backbone Initiative (Gruppe von 32 Gasnetzbetreibern) hat bereits einen Plan für ein europaweites H₂-Netz vorgestellt. Hamburgs geografische Nähe zu Salzkavernen ist ein Vorteil für die Einbindung in das Netz, denn sie bietet Speicherpotenzial.

Abbildung 3.14 Wiederverwendete Pipelines können Hamburg bis 2040 an ein europäisches Wasserstoffnetz anbinden



Quelle: (OECD, 2023[42]).

Bei größeren Entfernungen erfordert die Nachfrage nach importiertem Wasserstoff den Ausbau der Schiffs- und Hafeninfrastruktur. Wasserstoff kann als Flüssigwasserstoff (LH₂), Ammoniak (NH₃), LOHC oder umgewandelt in einen synthetischen Kohlenwasserstoffkraftstoff transportiert werden (IEA, 2022[95]). Da es nicht möglich ist, reinen Wasserstoff per Schiff zu transportieren, ist das Vorliegen von Umwandlungs- und Rückumwandlungsanlagen sowohl an den Lade- als auch an den Empfangsterminals unerlässlich. Bis 2026 wird im Hamburger Hafen ein Terminal für den Import von grünem Ammoniak nach Deutschland gebaut. Es kann auch den Bedarf an Ammoniak aus der künftigen emissionsfreien internationalen Schifffahrt decken.

Der Hamburger Hafen kann eine Schlüsselrolle beim Import von Wasserstoff spielen

Pipelines sind derzeit der kostengünstigste Weg, um bedeutende Mengen an Wasserstoff bis zu einer Entfernung von 500–3000 km zu transportieren. Wasserstoff kann daher per Pipeline aus dem Nahen Osten über Südeuropa sowie aus Dänemark und Norwegen nach Europa transportiert werden. Die Umwidmung bestehender Gaspipelines für den Transport von Wasserstoff aus Nordafrika oder dem Nahen Osten braucht Zeit, auch weil Erdgas weiterhin genutzt werden wird. Die Schifffahrt bietet außerdem Flexibilität und hilft, mit geopolitischen Risiken umzugehen. Hamburg hat bereits Kooperationsprojekte mit Chile, Uruguay, Argentinien und Schottland, und mehrere vielversprechende Wasserstoffexportregionen wie die USA können ebenfalls grünen Wasserstoff per Schiff nach Europa exportieren, was Hamburg zu einem geeigneten Ort für die Lieferung ihrer Produkte macht. Da die Verschiffung von Wasserstoff noch nicht in großem Maßstab entwickelt ist, besteht Potenzial für Investitionen in Forschung, Entwicklung und Einsatz, um die Kosten zu senken. Als grüner Wasserstoff-Hub könnte Hamburg in den Ausbau der Technologie in diesem Bereich investieren.

Die Verschiffung von Wasserstoff bietet mehr Möglichkeiten für die verschiedenen Formen des Transports. Manche aus Wasserstoff gewonnene Produkte wie Ammoniak, organische Verbindungen und Eisenpellets bieten kostengünstigere Transportmöglichkeiten. Nach der Lieferung kann Ammoniak wieder in Wasserstoff umgewandelt werden.

Wasserstoff erfordert eine ehrgeizige und dennoch kostengünstige grüne Zertifizierung

Zertifizierter grüner Wasserstoff erlaubt es industriellen Herstellern, ihre Produkte als unter Verwendung von kohlenstoffarmem oder -freiem Wasserstoff hergestellt zu vermarkten. Zertifikate verbessern die Kohlenstoffbilanz in der Lieferkette (IRENA and RMI, 2023[118]). Ein schwerfälliger Zertifizierungsrahmen könnte jedoch die Kosten in die Höhe treiben, da manche Exporteure von grünem Wasserstoff sich dafür entscheiden könnten, ihr Produkt an einen Ort mit einem weniger strengen Rahmen zu schicken. Die Kosten könnten auf die Importeure von grünem Wasserstoff in Hamburg übertragen werden. Das Risiko ist umso größer, als die Zertifizierung weltweit nicht harmonisiert ist.

Derzeit gibt es weltweit 11 freiwillige oder obligatorische Systeme. Ihre Kriterien für die Definition der Nachhaltigkeit von grünem Wasserstoff unterscheiden sich in Bezug auf den Anwendungsbereich, den Emissionsgrenzwert und die Bilanzierungsmethode. Angesichts der wachsenden Zahl von Zertifizierungssystemen wird die Europäische Kommission wahrscheinlich eine Liste der nationalen oder freiwilligen, international anerkannten Zertifizierungssysteme aktualisieren (Erbach and Svensson, 2023[119]), wie sie es bereits für Biokraftstoffe tut. Das CertifHy-System, das nur in der EU gilt, hat

kürzlich sein freiwilliges RFNBO-System zur Anerkennung durch die Europäische Kommission eingereicht (CertifHy, 2023[120]).

Die zehn Kriterien der IRENA Coalition for Action, die dazu dient sicherzustellen, dass die Nachverfolgungssysteme die Nachfrage nach grünem Wasserstoff erfüllen, könnten eine interessante Grundlage für ein globales System zur Zertifizierung von grünem Wasserstoff darstellen (Kasten 3.11).

Kasten 3.11 Die 10 Kriterien der IRENA Coalition for Action für Systeme zur Nachverfolgung von grünem Wasserstoff

- Entwicklung einer harmonisierten Definition von grünem Wasserstoff
- Zertifizierung der erneuerbaren Herkunft der Energie, die zur Herstellung von Wasserstoff verwendet wird, durch technologische Korrelation (1), geographische Korrelation (2), zeitliche Korrelation (3), Zusätzlichkeit (4)
- Sicherstellen, dass die Zertifikate ausreichende Informationen für Verbraucher und politische Entscheidungsträger enthalten
- Vereinfachung des Systems zur Rückverfolgung von grünem Wasserstoff, um Verwaltungsaufwand zu vermeiden.
- Implementierung eines kosteneffizienten Nachverfolgungssystems
- Einführung geeigneter Steuersysteme zur Vermeidung von Missbrauch oder mangelnder Transparenz
- Berücksichtigung von Wechselwirkungen mit bestehenden Nachverfolgungssystemen
- Vermeidung von Doppelzählungen
- Verwendung einer Taxonomie und grüner Finanzkriterien, um die Einhaltung der Zertifizierungsanforderungen für grünen Wasserstoff zu fördern
- Förderung der internationalen Zusammenarbeit, um weltweit akzeptierte Regeln und Anforderungen festzulegen

Quelle: (IRENA coalition for action, 2021[121]).

Wichtige Maßnahmen

Sofortmaßnahmen

- Die HK könnte weiterhin mit den betroffenen Unternehmen sowie mit regionalen und nationalen Regierungen den Bedarf an Infrastruktur für den Transport, die Speicherung und Verarbeitung von Wasserstoff und aus Wasserstoff gewonnenen Produkten, einschließlich Ammoniak, prüfen, um den lokalen Bedarf zum Erreichen der Klimaneutralität zu decken, insbesondere in der Schifffahrt, im Schwerlastfernverkehr, in der Stahlproduktion, in der Kupferproduktion und als Rohstoff in der petrochemischen Produktion.

- Die HK könnte zusammen mit den betroffenen Unternehmen sowie mit den regionalen und nationalen Behörden das Potenzial Hamburgs bewerten, zur Wasserstoffnachfrage über die Region Hamburg hinaus beizutragen, insbesondere in Nordwesteuropa, und dabei an Projektionen für andere europäische Regionen anknüpfen (OECD, 2023[42]).
- Die HK und wichtige Unternehmen könnten das lokale Potenzial für die Produktion von grünem Wasserstoff quantifizieren. Sie könnten die Wettbewerbsfähigkeit des lokal produzierten grünen Wasserstoffs im Vergleich zu Importen bewerten.
- Die HK könnte sich an nationalen oder internationalen Diskussionen zur Entwicklung von Zertifizierungssystemen für grünen Wasserstoff beteiligen, die sich an den Standards der Europäischen Union orientieren.

Bis 2030

- Das lokale Potenzial zur Erzeugung von erneuerbarem Strom für die Versorgung mit grünem Wasserstoff erhöhen.
- Ausbau der Infrastruktur, um Produktions-, Import- und Nachfragebereiche miteinander zu verbinden.
- Wichtige Unternehmen sollten mit Unterstützung der Forschung, der lokalen und nationalen Regierung sowie der HK die Entwicklung von Technologien zur Senkung der Kosten für den Transport von Wasserstoff bewerten.

Kohlenstoffabscheidung und -speicherung in der Nordsee zur Reduzierung der schwer abbaubaren CO₂-Emissionen der Schwerindustrie

Die Kohlenstoffabscheidung und -speicherung (CCS) könnte eine „Last-Step-Technologie“ sein, die für ein paar wenige schwer abbaubare Emissionen in Schwerindustrien nützlich sein kann (IPCC, 2022[122]; IEA, 2020[59]). Ein Ansatz besteht darin, CCS auf Verfahrensemissionen in der industriellen Produktion zu beschränken, da es klimaneutrale Optionen für energiebedingte Emissionen gibt, wie sie in der Europäischen Union favorisiert werden (OECD, 2023[42]). In Situationen, in denen emissionsfreie Technologien nicht ohne weiteres verfügbar sind, wird CCS zu einer notwendigen Voraussetzung, um die Netto-Null-Ziele (NZT) zu erreichen. Folglich wird CCS höchstwahrscheinlich in der Zementproduktion und vielleicht auch in der Kupferproduktion notwendig sein, die beide im Großraum Hamburg vorhanden sind.

Die Nordsee bietet große Vorteile für die CCS-Speicherung. In der Tat wurden mehrere, meist kleinere Projekte rund um die Nordsee gestartet oder sind geplant (Kasten 3.12). Ein großes Potenzial für die Entwicklung von CCS in der Region Hamburg erscheint jedoch unwahrscheinlich. Wie im Folgenden dargestellt, sind die Kosten hoch, einschließlich der Kosten für den Transport. Außerdem ist für den Transport von CO₂ in großem Maßstab die Hamburger Hafeninfrastruktur möglicherweise nicht erforderlich. Dennoch müssten die Verfügbarkeit von Platz oder Umschlaganlagen und die Kompatibilität mit anderen Transformationsentwicklungen (wie Wasserstoffimporten) geprüft werden.

Kasten 3.12 CCS-Projekte der europäischen Nordsee-Anrainerstaaten

- In Norwegen ist das Northern-Light-Projekt eines der wichtigsten CCS-Projekte in Europa. Das Longship-Projekt, die Transport- und Speicherkomponente von Northern Light, ist der erste transeuropäische Knotenpunkt, der für alle europäischen Emittenten geöffnet ist. Die Transport- und Speicherkapazität beträgt bis zu 5 Mio. (Mt/Jahr) CO₂, was einer Gesamtspeicherkapazität von schätzungsweise rund 100 Mt entspricht.
- In den Niederlanden wird im Hafen von Rotterdam das Projekt Porthos entwickelt. Dieses Gemeinschaftsprojekt zwischen dem Hafenbetrieb Rotterdam, EBN und Gasunie erlaubt es verschiedenen Unternehmen, ihre CO₂-Emissionen in eine gemeinsame Pipeline zu leiten, die durch das Rotterdamer Hafengebiet verläuft. Nur ein sehr geringer Teil der CO₂-Emissionen wird in der Nordsee aufgefangen und gespeichert. In der Tat stoßen die Industrien rund um den Hafen etwa 25 Mt/Jahr CO₂ aus (45 Chemieunternehmen und 5 Raffinerien), und die Anfangskapazitäten des Porthos-Projekts werden auf 2 Mt/Jahr CO₂ begrenzt sein, mit einer möglichen Steigerung auf 5 Mt/Jahr CO₂ bis 2030.
- In Dänemark wird das Greensand-Projekt von einem Konsortium aus dänischen und internationalen Unternehmen, Forschungsinstituten, Universitäten und Start-ups geleitet. Es zielt auf die Speicherung von 1,5 Mt/Jahr CO₂ im Jahr 2026 und bis zu 8 Mt/Jahr CO₂ im Jahr 2030 ab. Dies entspricht 13 % der jährlichen CO₂-Emissionen Dänemarks.
- In Belgien will der Hafen von Antwerpen bis 2030 50 % seiner Emissionen einfangen, was etwa 9 Mt/Jahr CO₂ entspricht, die in der Nordsee gespeichert werden sollen.
- In Frankreich ist das Projekt D'Artagnan in Dunkerque als ein für jedermann zugängliches Exportzentrum geplant, um CO₂ vom Hafen von Dunkerque aus in der Nordsee zu speichern. Die anfängliche Kapazität ist auf 3 Mt/Jahr CO₂ festgelegt und soll in der Endphase auf 12 Mt/Jahr CO₂ erhöht werden. Ähnliche Projekte werden von Haropa Port für den Hafen von Le Havre vorgeschlagen, um 7 Mt/Jahr CO₂ abzuscheiden und zu speichern.
- In Großbritannien gibt es noch keine CCS-Projekte, aber es wird angestrebt, diese bis 2030 zu entwickeln, um Klimaneutralität zu erreichen. Großbritannien verfügt in der Tat über ein beträchtliches Potenzial zur Speicherung von Kohlenstoff unter der Nordsee. In der Net-Zero-Strategie ist geplant, ab 2030 zwischen 20 und 30 Mt/Jahr CO₂ abzuscheiden und zu speichern, wobei die Kapazität ab 2050 auf 47 Mt/Jahr CO₂ erhöht werden soll.

Quelle: (Northern Lights, 2023[123]), (Porthos, 2023[124]), (Greensand, 2023[125]), (Port of Antwerp Bruges, 2023[126]), (Cornot- Gandolphe, 2021[127]), (Wettengel, 2023[128]).

Der Bedarf an CCS ist weit gestreut

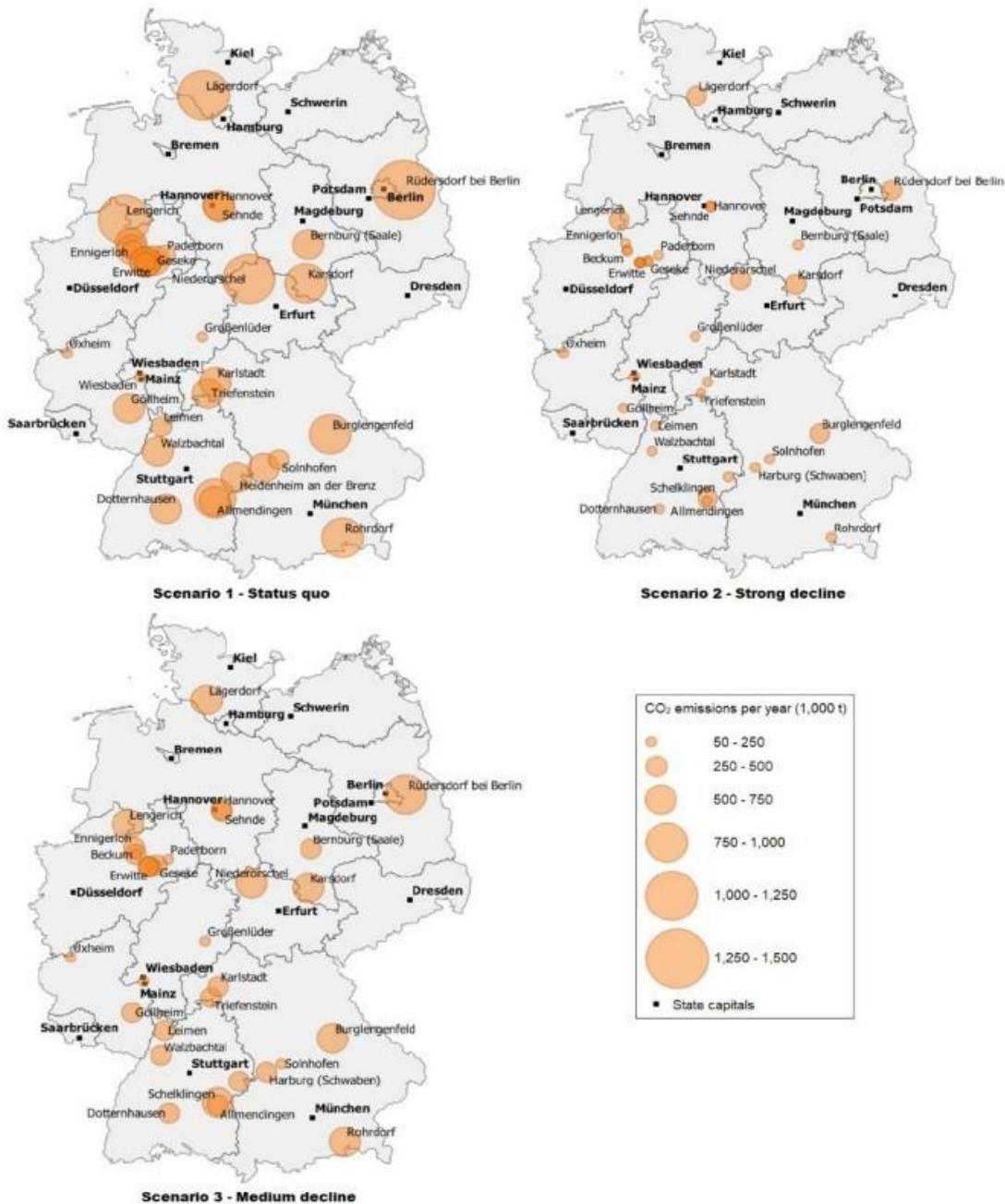
Was die potenzielle CCS-Nachfrage über die unmittelbare Umgebung Hamburgs hinaus betrifft, so sind die europäischen Zementwerke geografisch über den ganzen Kontinent verteilt. Da die CCS-Infrastruktur von Skaleneffekten profitiert, stellt die weite Verteilung der Zementwerke eine Herausforderung für den Transport dar und erhöht die Kosten. Es könnte sein, dass Stahlproduzenten mit konzentrierteren Produktionsstätten daran interessiert sind, sich der Zementproduktion bei CCS anzuschließen. Die Stückkosten sinken deutlich, wenn die CO₂-Transportkapazität steigt.

Die Nachfrage nach CCS (Kohlenstoffabscheidung und -speicherung) im Großraum Hamburg wird hauptsächlich von einem Zementwerk in Lägerdorf in der Nähe von Hamburg kommen. Die Kupferproduktion innerhalb Hamburgs könnte die lokale CCS-Nachfrage etwas erhöhen (Tabelle 3.5).

Nur ein Teil dieser Emissionen würde CCS erfordern, da die meisten energiebezogen sind und effizientere Produktionsprozesse die Emissionen reduzieren können.

In Nordrhein-Westfalen befinden sich die größten Zementproduktionscluster Europas (Bellona Europa, 2016[129]), deren CO₂-Emissionen sich schätzungsweise auf insgesamt 35 Gt/Jahr belaufen (IEA, 2020[59]). Zwar gilt CCS nach wie vor als eine zu entwickelnde Technologie, um die industriellen Emissionen der Region über die Zementproduktion hinaus zu begrenzen (Ministry for Economic Affairs, 2021[130]), doch Unwägbarkeiten und die hohen Kosten für den Transport von CO₂ über große Entfernungen machen eine Rolle für Hamburg unwahrscheinlich.

Abbildung 3.15 Szenarien für die CO₂-Emissionen von Zementwerken in Deutschland im Jahr 2050



Anmerkung: Szenario 1 – Keine Verringerung der Emissionen bis 2050, und die Zementnachfrage und der Klinker-Zement-Faktor bleiben konstant; Szenario 2 – Verringerung der Emissionen um 70 % bis 2050 und Einsatz alternativer Produktionsverfahren und Produkte; Szenario 3 – Verringerung der Emissionen um 35 % bis 2050 und ein geringerer Rückgang der Zementnachfrage oder der CO₂-Emissionen.

Quelle: (Winter, Schröter and Fidaschek, 2022[131]).

Tabelle 3.5 Im EU ETS registrierte CO₂-Emissionen von Zement und Chemikalien für Hamburg

	Aurubis AG	Holcim (Deutschland) GmbH – Werk Lägerdorf (Zementklinker)	Holcim (Deutschland) GmbH – Werk Höver (Zementklinker)
Geprüfte Emissionen (ETS) im Jahr 2022 (in Tonnen)	154.294	961.548	555.043

Quelle: (EU ETS, 2022[132]), Aurubis AG.

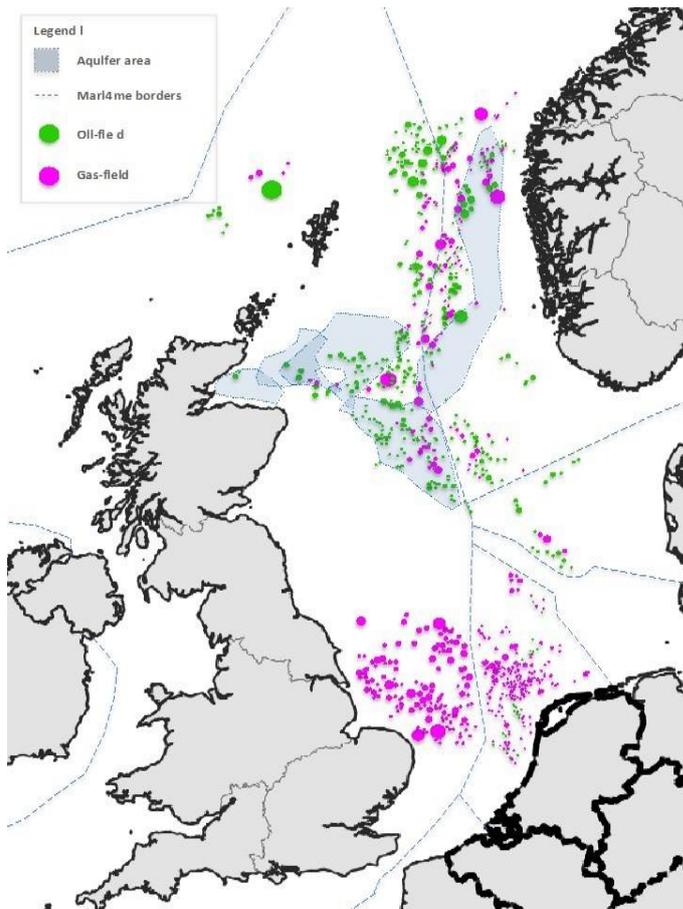
Die Nordsee scheint ein bevorzugter Standort für CCS zu sein

Die IEA schätzt die theoretische Speicherkapazität in der Nordsee als sehr groß ein, etwa 300 Gt, was etwa dem 400-Fachen der jährlichen deutschen CO₂-Emissionen entspricht, wobei sich fast die Hälfte davon in den norwegischen und britischen Gebieten befindet (IEA, 2022[133]) (Abbildung 3.16). Die Nordsee ist in der Tat ein ausgereiftes Öl- und Gasfördergebiet (Nakhle, 2016[134]), das viele Pipelines und geologische Reservoirs zur Verfügung stellt, die nach Jahrzehnten der Öl- und Gasförderung leer sind. Diese Infrastruktur könnte für den Transport von CO₂-Emissionen umstrukturiert werden.

Neben der beträchtlichen Speicherkapazität bietet die Öl- und Gasinfrastruktur in der Nordsee entscheidende Vorteile gegenüber alternativen Speicherorten. Betrachtet man die beiden primären Optionen für die CO₂-Speicherung – saline Aquifere und erschöpfte Öl- und Gasfelder – so wird deutlich, dass die Nutzung von Öl- und Gasfeldern nicht nur eine langfristige Absicherung gegen das Risiko bietet, dass CO₂ wieder aus den Speicherstätten austritt (was die Speicheranstrengungen zunichtemachen würde), sondern auch wesentlich präzisere Kapazitätsabschätzungen ermöglicht, die eine Bewertung der wirtschaftlichen Tragfähigkeit jeder Speicherstätte erlauben. Die Nordseeregion erhöht somit die allgemeine Rentabilität und Zuverlässigkeit der Anstrengungen um die Kohlenstoffabscheidung und -speicherung (OECD, 2023[42]).

Ein wichtiger Faktor, der die Offshore-Speicherung begünstigt, ist die gesellschaftliche Akzeptanz. Die deutsche Regierung wird in Kürze ihre Strategie zur Kohlenstoffabscheidung und -speicherung vorstellen (BMWK, 2022[135]). Für das Jahr 2023 ist ein Reformprojekt geplant, das den Bau einer kommerziellen Infrastruktur für CCS ermöglichen soll. Während die Onshore-Speicherung in allen Bundesländern verboten bleibt, ist die Offshore-Speicherung in der Nordsee erlaubt. Bislang wurden in Deutschland keine Speicher oder Pipelines beantragt, genehmigt oder gebaut (Wettengel, 2023[128]).

Abbildung 3.16 Potenzielle Offshore-CCS-Speicherstätten in Kohlenwasserstofffeldern in der Nordsee variieren in ihrer Speicherkapazität



Quelle: NLOG. (2020). Interaktive Karte. <https://www.nlog.nl/> NPD (2020). Interaktive Karte – Norwegisches Erdöl. <https://www.norskpetroleum.no/en/interactive-map-quick-downloads/interactive-map/>. North Sea Transition Authority (2020). Interaktive Karten und Tools. <https://www.ogauthority.co.uk/data-centre/interactive-maps-and-tools/>.

Hohe Kosten und Ungewissheit machen eine größere Rolle Hamburgs bei CCS unwahrscheinlich

CCS ist ein außergewöhnlich teures Verfahren. Nach den Daten des interaktiven Tools der Clean Air Task Force schwanken die Kosten für CCS in Deutschland derzeit erheblich und liegen zwischen 70 und 280 Euro pro Tonne CO₂, wobei die durchschnittlichen Kosten für die Zementindustrie bei 211 Euro pro Tonne liegen (Clean Air Task Force, 2023[136]). Im Gegensatz dazu liegt der aktuelle Marktpreis für eine Tonne CO₂ bei etwa 80 EUR, was CCS wirtschaftlich nicht realisierbar macht.

Forschungs- und Entwicklungsanstrengungen haben das Potenzial, die mit einer groß angelegten CCS-Einführung verbundenen Kosten erheblich zu senken (Budinis et al., 2018[137]). Die Bereiche der CCS-Forschung sind breit gefächert und reichen von der Reduzierung des Energiebedarfs und der Verwendung innovativer Lösungsmittel bis hin zur Standardisierung von Abscheidungseinheiten und der Vergrößerung von Anlagen. Sie könnten die Kosten um 80 % senken (IEA, 2020[59]). Außerdem wird erwartet, dass die Kosten sinken, wenn der Markt expandiert (Baylin-Stern and Berghout, 2021[138]).

Insgesamt dürften die Kosten für CCS sinken, aber das hängt stark von den Forschungs- und Entwicklungsanstrengungen ab, die ein hohes Maß an Unsicherheit mit sich bringen.

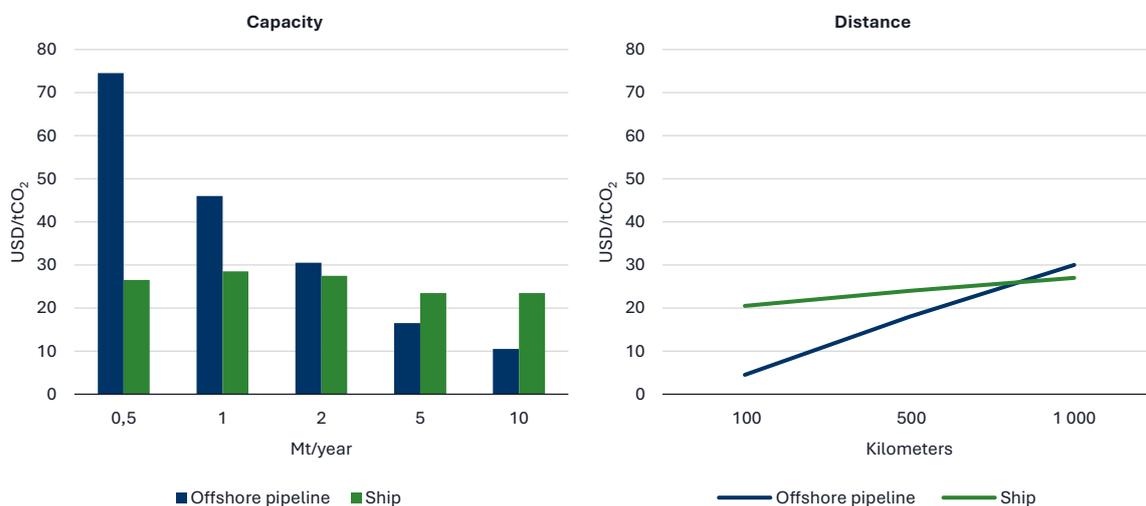
Der Transport von CO₂-Emissionen ist komplex und erfordert möglicherweise keine Hafeninfrastruktur

Emissionsquellen, die potenziell für CCS in Frage kommen, befinden sich oft in beträchtlicher Entfernung von der Nordsee, insbesondere im Fall von weit verstreuten Zementproduktionsanlagen, was zwei große Herausforderungen für den Transport mit sich bringt: den Transport an Land zur CO₂-Sammlung und den Transport auf See, um das CO₂ zu den Speicherstätten zu bringen.

Was den Transport an Land betrifft, so ist der wahrscheinlichste wirtschaftlich tragfähige Transport eine Onshore-Pipeline. Nur wenn die Menge oder die Entfernung des transportierten CO₂ begrenzt ist, können die CO₂-Emissionen über Land per Zug oder Lkw transportiert werden. Ein solches Pipelinennetz gibt es derzeit nicht; wenn ein Pipelinennetz gebaut wird, um Emissionsorte mit der Nordsee zu verbinden, führt es aber nicht unbedingt durch Hamburg. Im Gegensatz zu Wasserstoff können für den Transport von CO₂ nicht einfach wiederverwendete Erdgaspipelines genutzt werden. Er erfordert eine neue Infrastruktur, die zeitaufwendig und kostspielig ist (OECD, 2023[42]). Der Bau einer Onshore-Pipeline für den Transport von CO₂-Emissionen kann große Herausforderungen und hohe Kosten mit sich bringen, insbesondere wegen möglicher Landnutzungskonflikte.

Unter dem Gesichtspunkt der Kosteneffizienz sind Offshore-Pipelines für große Mengen und relativ kurze Entfernungen gut geeignet, wohingegen die Schifffahrt für den Transport kleinerer CO₂-Mengen über größere Entfernungen (Abbildung 3.17) (IEA, 2020[139]) die finanziell tragfähigere Wahl darstellt.

Abbildung 3.17 Transportkosten für Schiffe und Offshore-Pipelines



Anmerkung: Mt steht für Mio. t. Das linke Diagramm geht von einer Entfernung von 1000 km aus. Das rechte Diagramm geht von einer Kapazität von 2 Mt/Jahr aus.

Quelle: (IEA, 2020[60]).

Es gibt mehrere Initiativen zur Anbindung an die Speicheranlagen in der Nordsee über Offshore-Pipelines. Sie ermöglichen den Transport von CO₂ im industriellen Maßstab, sind weniger anfällig für

Unterbrechungen durch extreme Wetterbedingungen und erfordern keine zusätzlichen technologischen Fortschritte. Offshore-Pipelines benötigen möglicherweise keine spezielle Hafenanlage wie die in Hamburg (OECD, 2023[42]).

Mehrere CCS-Projekte in Europa planen, die Schifffahrt als primäre Transportform zu nutzen, die flexibler ist (IEA, 2022[133]). Equinor plant den Bau von zwei Schiffen, die Flüssiggas transportieren können: Sie werden CO₂-Industrieemissionen aus nordeuropäischen Gebieten in der Nähe von Häfen wie Hamburg einsammeln und anschließend nach Oygarden fahren, einer Offshore-Speicherstätte an der norwegischen Küste (Joeres, 2021[140]).

Anstatt es zu speichern, kann CO₂ vor Ort in einer Reihe von Industrien verwendet werden, insbesondere in der chemischen Grundstoffherstellung, wie der Produktion von Kunststoffen, Schmierstoffen oder Wachsen, die auch in Hamburg hergestellt werden. In Kombination mit Wasserstoff könnte CO₂ in diesen Verfahren fossile Brennstoffe ersetzen. Es könnte zum Beispiel für die Herstellung von grünem Methanol verwendet werden, das als Treibstoff in der Schifffahrt eine Rolle spielen könnte. Um die Kosten zu begrenzen, müsste die Anlage, die das CO₂ verwendet, in der Nähe des CO₂-Abscheidungsstandorts liegen, während Angebot und Nachfrage von CO₂ eng aufeinander abgestimmt sein müssten, um mit der Klimaneutralität vereinbar zu sein. Um vollständig mit der Klimaneutralität vereinbar zu sein, müssten die abgeschiedenen CO₂-Emissionen außerdem in Produkten verwendet werden, die bei der Nutzung oder Entsorgung selbst kein CO₂ ausstoßen. Andernfalls müsste das CO₂ aus nichtemittierenden CO₂-Quellen stammen, wie z. B. der Verbrennung von nachhaltiger Biomasse oder der direkten Luftabscheidung (DAC). CCU und DAC sind energieintensiv, was die Energiewende untergraben könnte (OECD, 2023[42]). Insgesamt könnte das Potenzial für CCU begrenzt sein.

Kasten 3.13 Aktuelle Offshore-CO₂-Pipelinesysteme in Europa, die das Festland mit den Speicherstätten in der Nordsee verbinden

In Norwegen ist die Hammerfest 153 km lang und hat eine Kapazität von 0,7 Mt/Jahr. In den Niederlanden ist das Rotterdamer System 85 km lang und hat eine Kapazität von 0,4 Mt/Jahr (IEA, 2020[59]). Die Nähe Deutschlands zu den südnorwegischen EOR-Feldern ist ein Vorteil für die Speicherung von CO₂ in der Nordsee (Global CCS institute, 2007[141]). Eine dritte CO₂-Pipeline könnte zwischen Deutschland und Norwegen gebaut werden, um CO₂ in der Nordsee zu speichern, wird aber nicht notwendigerweise von Hamburg aus gebaut (Abbildung 3.18). Diese Unterwasserpipeline wäre 900 km lang und hätte bis 2037 eine Kapazität von 20 bis 40 Mt/Jahr, was etwa 20 % der jährlichen Industrieemissionen Deutschlands entspricht (Offshore, 2022[142]). Sie könnte mit anderen Standorten wie Rotterdam konkurrieren.

Abbildung 3.18 Pipelineprojekt zum Transport von CO₂ zwischen Deutschland und Norwegen



Anmerkungen: EOR steht für Enhanced Oil Recovery, ein Verfahren zur Gewinnung von Öl. Wintershall Dea ist ein deutsches Unternehmen der Gas- und Ölindustrie und Equinor ist ein norwegisches Unternehmen der Gas- und Ölindustrie.

Quelle: (Wintershall Dea, 2022[143]).

Der Hafen kann lokale Industrien mit CCS-Bedarf unterstützen

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass Hamburgs Potenzial, sich als wichtiges Zentrum für die CO₂-Abscheidung zu etablieren, bestenfalls ungewiss und schlimmstenfalls unwahrscheinlich erscheint. Rotterdam wäre als Drehscheibe für die Speicherung von CO₂ aus Nordwesteuropa unter der Nordsee ein besserer Standort. Hamburgs Hafeninfrastruktur ist eher geeignet, CCS-bezogene Dienstleistungen für die relativ bescheidenen Emissionen in der Region Hamburg anzubieten, die möglicherweise CCS erfordern, insbesondere für die Zementproduktion in der Nähe von Hamburg und die Kupferproduktion in Hamburg. Hamburgs direkter Zugang zur Nordsee bietet die Möglichkeit, das vor Ort produzierte CO₂ direkt zu Speicherstätten zu leiten.

Wichtige Maßnahmen

Bis 2030

- Die Unternehmen sollten den Bedarf an CCS-bezogenen Dienstleistungen ermitteln, insbesondere für die lokale Zement- und Kupferproduktion.

Bis 2040

- Die Unternehmen sollten CCS-Dienstleistungen im Hafen für die lokale Industrie und die lokalen Unternehmen entwickeln und dabei die Verfügbarkeit von Platz für Umschlaganlagen sowie die Kompatibilität mit anderen Transformationsentwicklungen berücksichtigen.

Quellenangaben

- ACEA (2022), European EV Charging Infrastructure Masterplan. [23]
- Acerinox (2021), Annual Integrated Report 2020, [61]
<https://www.acerinox.com/opencms901/export/sites/acerinox/.content/galerias/galeria-descargas/InformeIntegradoACX2020last.pdf> (accessed on 30 July 2021).
- ArcelorMittal (2021), Climate Action Report 2, <https://corporate-media.arcelormittal.com/media/ob3lpdom/car2.pdf> (accessed on 30 July 2021). [62]
- ArcelorMittal (2021), German Federal Government commits its intention to provide €55 million of funding for ArcelorMittal’s Hydrogen DRI plant, [68]
<https://corporate.arcelormittal.com/media/news-articles/german-federal-government-commits-its-intention-to-provide-55-million-of-funding-for-arcelormittal-s-hydrogen-dri-plant> (accessed on 27 September 2021).
- Aurubis AG (2023), 2023 Sustainability Report. [80]
- BALM (2023), Marktbeobachtung Güterverkehr. [11]
- Barteková, E. and P. Börkey (2022), “Digitalisation for the transition to a resource efficient and circular economy”, OECD Environment Working Papers, No. 192, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/6f6d18e7-en>. [52]
- Bataille, C. (2020), Low and zero emissions in the steel and cement industries: „Barriers, technologies and policies“, OECD Green Growth Papers, No. 2020/02, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/5ccf8e33-en>. [56]
- Baylin-Stern, A. and N. Berghout (2021), “Is carbon capture too expensive?”. [138]
- Behörde für Wirtschaft und Innovation (2023), Hafenentwicklungsplan, [2]
<https://www.hamburg.de/bwi/medien/17188570/2023-06-13-bwi-hafenentwicklungsplan/> (accessed on 2023).
- Bellona Europa (2016), Manufacturing Our Future: Industries, European Regions, and Climate Action. [129]
- BMDV (2022), Charging Infrastructure Masterplan II. [25]
- BMWK (2022), Evaluierungsbericht der Bundesregierung zum Kohlendioxid-Speicherungsgesetz (KSpG). [135]
- Budinis, S. et al. (2018), “An assessment of CCS costs, barriers and potential”, Energy Strategy Reviews, Vol. 22, pp. 61-81, <https://doi.org/10.1016/J.ESR.2018.08.003>. [137]
- BWI (2023), 2040 Port Development Plan. [15]
- Camisón-Haba and Clemente-Almendros (2020), Hydrogen – the drive of the future?. [144]
- Carbon Disclosure Project (2022), Aurubis AG – Climate Change 2022. [81]
- Cedefop (2021), Digital, greener and more resilient. Insights from Cedefop’s European skills forecast, Luxembourg,; [86]
https://www.cedefop.europa.eu/files/4201_en.pdf; <http://data.europa.eu/doi/10.2801/154094>.
- CertifHy (2023), CertifHy™ has submitted its RFNBO Voluntary Scheme for recognition by the European Commission, <http://www.certifyhy.eu>. [120]

- Chen, J. et al. (2019), “Environmental benefits of secondary copper from primary copper based on life cycle assessment in China”, Resources, Conservation and Recycling, Vol. 146, pp. 35- 44, <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.03.020>. [78]
- Clean Air Task Force (2023), <https://www.catf.us/ccs-cost-tool/>. [136]
- Collins, L. (2023), German cabinet approves creation of a national core hydrogen pipeline network, to become law this year. [116]
- Cornot-Gandolphe, S. (2021), “Un nouvel élan pour le captage, stockage et utilisation du carbone (CCUS) en Europe”. [127]
- Dachser (2022), Hydrogen – the Drive of the Future?. [28]
- de Leeuw, P. and S. Kim (2021), UK offshore energy workforce transferability review, Robert Gordon University, <https://www.rgu.ac.uk/wp-content/uploads/2021/05/workforce-transferability-report.pdf>. [92]
- Elshkaki, A. et al. (2016), “Copper demand, supply, and associated energy use to 2050”, Global Environmental Change, Vol. 39, pp. 305-315, <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2016.06.006>. [70]
- ENTSO-E (2014), “e-HIGHWAY 2050 - Modular Development Plan of the Pan-European Transmission System 2050”. [115]
- ENTSO-E (2014), D 2.2 European cluster model of the Pan-European transmission grid. e-HIGHWAY 2050 - Modular Development Plan of the Pan-European Transmission System 2050., https://docs.entsoe.eu/baltic-conf/bites/www.e-highway2050.eu/fileadmin/documents/Results/D2_2_European_cluster_model_of_the_Pan-European_transmission_grid_20072015.pdf. [105]
- ENTSO-E (2014), Data sets of scenarios for 2050. June 2014. e-HIGHWAY 2050 - Modular Development Plan of the Pan-European Transmission System 2050. [107]
- Equitable Maritime Consulting (2023), Evidence based policy advisory service. [6]
- ERA (2022), Report Fostering the Railway Sector Through the European Green Deal: Rail-Port Synergies, European Union Agency for Railways, Valenciennes, https://www.era.europa.eu/system/files?file=2023-01/fostering_the_railway_sector_through_the_european_green_deal_-_rail-ports_synergies_1.pdf. [1]
- Erbach, G. and S. Svensson (2023), BRIEFING Towards climate neutrality. [119]
- EU ETS (2022), European Union Transaction Log. [132]
- Eurofer (2022), European Steel in Figures - Employment and Economic Impact. [57]
- European Aluminium (2015), The European aluminium industry’s sustainability roadmap towards 2025, <https://european-aluminium.eu/media/1034/sustainability-roadmap.pdf>. [45]
- European Commission (2022), EU Transport in Figures – Statistical pocketbook 2022, Directorate-General for Mobility and Transport. [30]
- European Commission (2022), Key actions of the EU Hydrogen Strategy. [96]
- European Commission (2022), REPowerEU - Une énergie abordable, sûre et durable pour l’Europe. [97]

European Commission (2018), A Clean Planet for all A European long-term strategic vision for a prosperous, modern, competitive and climate neutral economy, IN-DEPTH ANALYSIS IN SUPPORT OF THE COMMISSION COMMUNICATION COM(2018) 773. [146]

Eurostat (2023), Eurostat Data Browser. [33]

Federal Ministry for Economic Affairs and Energy (2020), The National Hydrogen Strategy. [98]

Fennell, P. et al. (2022), “Cement and steel — nine steps to net zero”, Nature, Vol. 603/7902, pp. 574-577, <https://doi.org/10.1038/d41586-022-00758-4>. [69]

Fraunhofer Institute (2022), Endbericht Machbarkeitsstudie Water Cargo Barge (WACABA). [20]

Fraunhofer Institute et al. (2022), Mögliche Ausbauschnitte für eine Oberleitungsinfrastruktur für den Straßengüterverkehr in Deutschland, Eine kriterienbasierte Analyse. [26]

Future Hamburg (2022), “Growing demand: H₂ – Future in the making”. [100]

Future Hamburg (2022), Pilot plant in Hamburg: Steel goes green. [103]

Global CCS institute (2007), Development of a CO₂ transport and storage network in the North Sea. [141]

Greensand (2023), Project Greensand | CO₂ Lagring, <https://www.projectgreensand.com/en> (accessed on 19 July 2023). [125]

Grid, A. (2022), “European Hydrogen Backbone – A European Hydrogen Infrastructure Vision Covering 28 Countries ”. [117]

Grimes, S., J. Donaldson and J. Grimes (2015), Report on the Environmental Benefits of Recycling - 2016 edition, Recycling, Bureau of International, <https://www.bir.org/publications/facts-figures/download/172/174/36?method=view>. [72]

H₂ Global Stiftung (2023), The H₂Global Instrument. [109]

Halim, R. et al. (2018), “Decarbonization Pathways for International Maritime Transport: A Model-Based Policy Impact Assessment”. [3]

Halim, R., T. Smith and D. Englert (2019), “Understanding the Economic Impacts of Greenhouse Gas Mitigation Policies on Shipping – What Is the State of the Art of Current Modeling Approaches?”. [8]

Hamburg Invest (2022), A strong hydrogen region. [101]

Hamburgnews (2020), “HY-5 on way to becoming Europe’s leading hydrogen region”. [102]

HHLA (2023), HHLA Pure. [16]

HHLA (2022), Hydrogen as a future opportunity. [104]

HHM (2023), Charts, Yearly Press Conference 2023, Port of Hamburg Marketing, <https://www.hafen-hamburg.de/en/press/media/charts-yearly-press-conference-2023/>. [145]

Hund, K. et al. (2023), Minerals for Climate Action: The Mineral Intensity of the Clean Energy Transition, World Bank, Washington, DC, <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/40002>. [113]

Hydrogeninsight (2023), “Green hydrogen imported to Europe would be cost-competitive with locally produced H₂ by 2030: analyst”. [74]

Hydrogeninsight (2023), “Hamburg buys modern coal-fired power plant for conversion into green hydrogen production hub”.	[149]
IAI (2021), Aluminium Sector Greenhouse Gas Pathways to 2050, The International Aluminium Institute, London, https://www.world-aluminium.org/media/filer_public/2021/03/16/iai_ghg_pathways_position_paper.pdf .	[85]
ICCT (2023), European Union Alternative Fuel Infrastructure Regulation (AFIR), The International Council for Clean Transportation, Berlin.	[24]
ICCT and ECTA (2022), Readiness of The European Fleets for Zero-Emission Trucking.	[41]
IEA (2023), Hydrogen.	[94]
IEA (2022), Global Hydrogen Review 2022.	[95]
IEA (2022), Regional opportunities.	[133]
IEA (2021), How Energy Efficiency Will Power Net Zero Climate Goals.	[40]
IEA (2021), Net Zero by 2050: A Roadmap for the Global Energy Sector, OECD Publishing, Paris, https://doi.org/10.1787/c8328405-en .	[89]
IEA (2021), The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions, OECD Publishing, Paris, https://doi.org/10.1787/f262b91c-en .	[79]
IEA (2020), CCUS technology innovation – CCUS in Clean Energy Transitions – Analysis - IEA, https://www.iea.org/reports/ccus-in-clean-energy-transitions/ccus-technology-innovation (accessed on 18 July 2023).	[139]
IEA (2020), Energy Technology Perspectives 2020, OECD Publishing, Paris, https://doi.org/10.1787/d07136f0-en .	[60]
IEA (2020), “Energy Technology Perspectives 2020”.	[151]
IEA (2020), Energy Technology Perspectives 2020 – Special Report on Carbon Capture Utilisation and Storage: CCUS in clean energy transitions, OECD Publishing, Paris, https://doi.org/10.1787/208b66f4-en .	[59]
IEA (2020), Iron and Steel Technology Roadmap: Towards more sustainable steelmaking, OECD Publishing, Paris, https://doi.org/10.1787/3dcc2a1b-en .	[54]
IEA (2019), “The Future of Hydrogen – Seizing today’s opportunities”.	[99]
IMO (2023), 2023 IMO Strategy on Reduction of GHG Emissions from Ships.	[4]
International Copper Association (2023), Copper – The Pathway to Net Zero, https://copperalliance.org/wp-content/uploads/2023/03/ICA-GlobalDecar-202301-English-Final-singlepgs.pdf .	[71]
International PtX Hub (2023), Catalysing defossilisation globally.	[108]
Intraplan Trimode (2023), Gleitende Langfrist-Verkehrsprognose 2021-2022.	[13]
IPCC (2022), Industry.	[122]
IRENA (2022), “Geopolitics of the Energy Transformation – The Hydrogen Factor”.	[112]
IRENA (2022), Global hydrogen trade to meet the 1,5°C climate goal.	[111]
IRENA (2020), “Green hydrogen – A guide to policy making”.	[93]

IRENA coalition for action (2021), “DECARBONISING END-USE SECTORS: PRACTICAL INSIGHTS ON GREEN HYDROGEN”.	[121]
IRENA and RMI (2023), CREATING A GLOBAL HYDROGEN – MARKET CERTIFICATION TO ENABLE TRADE.	[118]
ITF (2023), Decarbonisation and the Pricing of Road Transport: Summary and Conclusions, OECD Publishing, Paris.	[29]
ITF (2023), ITF Transport Outlook 2023.	[34]
ITF (2022), Decarbonising Europe’s Trucks – How to Minimise Cost Uncertainty.	[17]
ITF (2022), How Digitally-driven Operational Improvements Can Reduce Global Freight Emissions.	[19]
ITF (2022), Mode Choice in Freight Transport.	[22]
ITF (2021), Decarbonising Transport in Europe – The Way Forward.	[12]
ITF (2021), Zero Carbon Supply Chains: The Case of Hamburg, OECD Publishing, Paris.	[37]
ITF (2020), How Urban Delivery Vehicles Can Boost Electric Mobility, OECD Publishing, Paris.	[32]
Jing, L. et al. (2020), “Carbon intensity of global crude oil refining and mitigation potential”, Nature Climate Change, Vol. 10, pp. 526–532, https://doi.org/10.1038/s41558-020-0775-3 .	[88]
Joeres, A. (2021), “Les fausses promesses des technologies de captage du carbone pour réduire les émissions de CO ₂ ”, Le Monde.	[140]
Johnson, O. et al. (2021), “Toward Climate-Neutral Heavy Industry: An Analysis of Industry Transition Roadmaps”, Applied Sciences, Vol. 11/12, p. 5375, https://doi.org/10.3390/ .	[47]
Karka, P., F. Johnsson and S. Papadokostantakis (2021), “Perspectives for Greening European Fossil-Fuel Infrastructures Through Use of Biomass: The Case of Liquid Biofuels Based on Lignocellulosic Resources”, Frontiers in Energy Research, Vol. 9, https://doi.org/10.3389/fenrg.2021.636782 .	[90]
LIHH (2023), Logistik Report 2022-2023 für die Metropolregion Hamburg.	[31]
Liu, G., C. Bangs and D. Müller (2013), “Stock dynamics and emission pathways of the global aluminium cycle”, Nature Climate Change, Vol. 3, pp. 338–342, https://doi.org/10.1038/nclimate1698 .	[84]
Liu, G. and D. Müller (2012), “Addressing sustainability in the aluminum industry: a critical review of life cycle assessments”, Journal of Cleaner Production, Vol. 35, pp. 108–117, https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.05.030 .	[83]
Luidold, S. and H. Antrekowitsch (2007), “Hydrogen as a reducing agent: State-of-the-art science and technology”, JOM, Vol. 59/6, pp. 20–26, https://doi.org/10.1007/s11837-007-0072-x .	[77]
Mærsk Mc-Kinney Møller Center (2021), Decarbonizing the global maritime industry.	[5]
Material Economics (2019), Industrial Transformation 2050 – Pathways to Net-Zero Emissions from EU Heavy Industry, University of Cambridge Institute for Sustainability Leadership (CISL), https://materialeconomics.com/publications/industrial-transformation-2050 .	[43]

- Material Economics (2019), Industrial Transformation 2050 – Pathways to Net-Zero Emissions from EU Heavy Industry – Material Economics, [152]
<https://materialeconomics.com/publications/industrial-transformation-2050>.
- Material Economics (2018), Retaining value in the Swedish Materials System, [50]
<https://circulareconomy.europa.eu/platform/en/main-language/swedish>.
- McKinsey & Company (2022), Bold Moves to Boost European Freight. [36]
- Merk and Notteboom (2015), Port Hinterland Connectivity, OECD Publishing, Paris. [18]
- Ministry for Economic Affairs, I. (2021), “Carbon management for climate protection – The Carbon Management Strategy of North Rhine-Westphalia”. [130]
- Nakhle, C. (2016), News Assessing the Future of North Sea Oil and Gas, Carnegie Middle East Center. [134]
- Northern Lights (2023), What we do – Northern Lights, <https://norlights.com/what-we-do/> (accessed on 19 July 2023). [123]
- OECD (2023), OECD interviews with local stakeholders. [153]
- OECD (2023), Regional Industrial Transitions to Climate Neutrality, OECD Regional Development Studies, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/35247cc7-en>. [42]
- OECD (2020), The Circular Economy in Cities and Regions: Synthesis Report, OECD Urban Studies, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/10ac6ae4-en>. [51]
- OECD (2019), Business Models for the Circular Economy: Opportunities and Challenges for Policy, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/g2g9dd62-en>. [53]
- OECD (2019), Global Material Resources Outlook to 2060: Economic Drivers and Environmental Consequences, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/9789264307452-en>. [49]
- OECD/Hywax (2023), OECD interview with Hywax. [91]s
- Offshore (2022), North Sea pipeline to transport CO₂ from Germany to storage sites in Norway. [142]
- Oxford Economics (2019), The impact of the European steel industry on the EU economy, <https://www.eurofer.eu/assets/Uploads/20190530-OE-report-for-Eurofer-1-v2.pdf>. [44]
- Pedneault, J. et al. (2021), “What future for primary aluminium production in a decarbonizing economy?”, Global Environmental Change, Vol. 69, p. 102316, <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2021.102316>. [82]
- Pei, M. et al. (2020), “Toward a Fossil Free Future with HYBRIT: Development of Iron and Steelmaking Technology in Sweden and Finland”, Metals, Vol. 10/7, p. 972, <https://doi.org/10.3390/met10070972>. [66]
- Port of Antwerp Bruges (2023), Antwerp@C investigates potential for halving CO₂ emissions in Port of Antwerp by 2030. [126]
- Port of Barcelona (2019), eCOcalculator. [39]
- Port of Halifax (2023), Annual Report for 2022. [38]
- Port of Hamburg Marketing (2023), “Charts, Yearly Press Conference 2023”. [9]
- Porthos (2023), CO₂ reduction through storage under the North Sea – Porthos, <https://www.porthosCO2.nl/en/> (accessed on 19 July 2023). [124]

- Posco (2021), Posco Corporate Citizenship Report 2020, [63]
https://www.posco.co.kr/docs/eng6/jsp/dn/irinfo/posco_report_2020.pdf#page=1
 (accessed on 30 July 2021).
- Power Technology (2022), “Project focus: The Hamburg Green Hydrogen Hub”. [148]
- Quader, A. et al. (2016), “Present needs, recent progress and future trends of energy-efficient Ultra-Low Carbon Dioxide (CO₂) Steelmaking (ULCOS) program”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 55, pp. 537-549, [65]
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.101>.
- REH (2023), Hydrogen Economy in the Hamburg Metropolitan Region. [27]
- Reuters (2021), ArcelorMittal gets support for green steel plant in Hamburg, [58]
<https://www.reuters.com/business/sustainable-business/arcelormittal-gets-support-green-steel-plant-hamburg-2021-09-07/> (accessed on 27 September 2021).
- RWE (2023), Hydrogen production in the North Sea – AquaVentus. [150]
- Schröder, A. et al. (2020), Blueprint “New Skills Agenda Steel”: Industry-driven sustainable European Steel Skills Agenda and Strategy (ESSA) Mid-term Report, [147]
<https://www.estep.eu/assets/Uploads/ESSA-Deliverable-D1-4-Mid-term-Report-2020-12-31.pdf>.
- Sharmina, M. et al. (2021), “Decarbonising the critical sectors of aviation, shipping, road freight and industry to limit warming to 1.5–2°C”, *Climate Policy*, Vol. 21/4, pp. 455-474, [48]
<https://doi.org/10.1080/14693062.2020.1831430>.
- SSAB (2021), The world’s first fossil-free steel ready for delivery, [67]
<https://www.ssab.com/News/2021/08/The-worlds-first-fossilfree-steel-ready-for-delivery> (accessed on 27 September 2021).
- Sun, X., F. Lettow and K. Neuhoff (2021), “Climate neutrality requires coordinated measures for high quality recycling”, *DIW Weekly Report*, Vol. 6, [46]
https://doi.org/10.18723/diw_dwr:2021-26-1.
- T&E (2021), “Unlocking Electric Trucking in the EU: Long-Haul Trucks”. [10]
- The Royal Society (2021), The role of hydrogen and ammonia in meeting the net zero challenge, <https://royalsociety.org/-/media/policy/projects/climate-change-science-solutions/climate-science-solutions-overview.pdf>. [76]
- Thyssenkrupp (2020), Annual Report 2019/2020, [64]
https://ucpcdn.thyssenkrupp.com/_binary/UCPthyssenkruppAG/en/investors/link-thyssenkrupp-GB-2019-2020-ENG-Web.pdf (accessed on 30 July 2021).
- Toll Collect (2023), Toll Rates per km from 1 January 2023. [35]
- UBA (2023), UBA forecast: 2022 Greenhouse Gas Emissions Down by 1.9 percent. [14]
- University of Cambridge Institute for Sustainability Leadership (CISL) (2020), Working towards a climate neutral Europe: Jobs and skills in a changing world, Technical Report. Cambridge, UK: CLG Europe, <https://www.corporateleadersgroup.com/reports-evidence-and-insights/technical-report-working-towards-a-climate-neutral-europe-jobs-and-skills-in-a-changing-world> (accessed on 12 October 2021). [87]
- Valera-Medina, A. et al. (2018), “Ammonia for power”, *Progress in Energy and Combustion Science*, Vol. 69, pp. 63-102, <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2018.07.001>. [75]

- VDA (2022), Decarbonisation of road freight transport Suitable framework conditions and rapid implementation of the Charging Infrastructure Master Plan II. [21]
- Wang, P. et al. (2021), “Efficiency stagnation in global steel production urges joint supply- and demand-side mitigation efforts”, Nature Communications, Vol. 12/1, pp. 1-11, <https://doi.org/10.1038/s41467-021-22245-6>. [55]
- Watari, T. et al. (2022), “Global copper cycles and greenhouse gas emissions in a 1.5 °C world”, Resources, Conservation and Recycling, Vol. 179, p. 106118, <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.106118>. [73]
- Weltenergieerat (2020), International hydrogen strategies. [110]
- Wettengel, J. (2023), Quest for climate neutrality puts CCS back on the table in Germany, Clean Energy Wire. [128]
- Winter, C., B. Schröter and S. Fidaschek (2022), The German Cement Industry as a CO₂ Source for Other Industries. [131]
- Wintershall Dea (2022), Wintershall Dea and Equinor partner up for large-scale CCS value chain in the North Sea. [143]
- World Bank (2021), Charting a Course for Decarbonizing Maritime Transport, <https://www.worldbank.org/en/news/feature/2021/04/15/charting-a-course-for-decarbonizing-maritime-transport>. [7]
- Wuppertal Institute (2021), Study on the Opportunities of “Power-to-X” in Tunisia. [114]
- Wuppertal Institute (2019), Project INFRA-NEEDS – Infrastructure Needs of an EU Industrial Transformation towards Deep Decarbonisation. [106]

Anhang 1.A. Beschreibung der Modelle und weitere Modellierungsergebnisse

Die Modelle NavigaTE, IFM und GEM-E3

Modell NavigaTE: Technisch-wirtschaftliches Modell zur Bewertung potenzieller Dekarbonisierungspfade für die Schifffahrt, das die gesamte maritime Energiewertschöpfungskette für den Antrieb des Schiffes von den Rohstoffen/Primärenergie bis zum Kielwasser des Schiffes („Well-to-Wake“) abbildet. Das NavigaTE-Modell besteht aus zwei Hauptelementen: Einem Gesamtbetriebskosten-(TCO-)Modell und einem Industrieübergangmodell. Diese werden verwendet, um den Treibstoffverbrauch der Flotte im Laufe der Zeit und die Energieeffizienz zu schätzen, was zu einer Gesamtschätzung des erforderlichen Energiebedarfs, der Treibstoffaufteilung und der Treibhausgasemissionen führt.

Internationales Güterverkehrsnachfragemodell (IFM): ein Güterverkehrsmodell, das speziell dafür entwickelt wurde, die internationalen Güterverkehrsaktivitäten (in Tonnenkilometern), die Kosten des Seeverkehrs und den Anteil der Verkehrsträger bis 2050 unter verschiedenen Handelsszenarien und politischen Maßnahmen zu prognostizieren. Equitable Maritime Company (EMC) unterhält eines der führenden internationalen Güterverkehrsmodelle, das validiert und in einer wissenschaftlichen Fachzeitschrift veröffentlicht¹ wurde und für die Projektion von Transportaktivitäten in verschiedenen Projekten zur Dekarbonisierung des Seeverkehrs, einschließlich Folgenabschätzungen der IMO, im Einsatz ist. Das Modell basiert auf dem vierstufigen Ansatz zur Modellierung des Güterverkehrs und verwendet die Projektion des globalen Handels aus dem GEM-E3-Modell als Input. Das IFM ist so konzipiert, dass es in der Lage ist, das Gewicht der zwischen den Ländern gehandelten Waren, die Wahl zwischen den Verkehrsträgern und den Transportrouten, die für den Transport dieser Waren verwendet werden, auf der Grundlage der Merkmale des Verkehrsnetzes und der relevanten sozioökonomischen Variablen wie Transportkosten und -zeit zu schätzen. Das Modell besteht aus den folgenden Komponenten:

3. Disaggregationsmodell der Handelsströme
4. Wert-Gewicht-Modell
5. Modell der Verkehrsmittelwahl
6. Modell der Routenwahl.

Das Modell ist hochgradig differenziert mit einer räumlichen Auflösung, die mehr als 120 Länder, 333 Regionen und 4000 Häfen weltweit umfasst. Die Untermodelle für die Disaggregation der Handelsströme und die Wert-Gewicht-Analyse erlauben es dem Modell, internationale Handelswerte (die in den verschiedenen globalen Handelsdatenbanken in der Regel in USD angegeben werden) in Handelsvolumen (Tonnen) umzuwandeln und sie mithilfe des Routenwahlmodells und des Zuweisungsverfahrens auf die globalen Seewege zu verteilen. Die Teilmodelle für die Wahl des Verkehrsträgers und der Route sind auch in der Lage, die potenzielle Verlagerung auf andere verfügbare Verkehrsträger und Routen als Auswirkung von Änderungen der Transportkosten zu analysieren.

Das von IFM erzeugte Ergebnis ist der bilaterale Handelswert jeder Ware auf der Ebene des Schwerpunkts (d. h. auf der Ebene der Stadt) und jedes Verkehrsträgers. Um die Auswirkungen auf eine einzelne Stadt (z. B. Hamburg) in Bezug auf ihre maritimen Importe/Exporte pro Ware und ihre maritimen Handelsbeziehungen mit wichtigen Handelspartnern auf Landesebene zu bewerten, müssen also Informationen sowohl auf Produkt- als auch auf Länderebene gesammelt und zusammengefasst werden. Infolgedessen werden sowohl Disaggregations- als auch Aggregationsverfahren durchgeführt.

Bei der Berechnung der Hamburger Import-/Export-Seetransportkosten pro Ware und Einheit von/nach allen Handelspartnerländern wenden wir einen gewichteten Durchschnittsansatz zur Aggregation der Informationen an.

Bei diesem Verfahren wird den Seetransportkosten jedes Imports/Exports nach/aus Hamburg ein Gewicht zugewiesen, das dem Verhältnis dieses Import-/Exportstroms zum gesamten Import- bzw. Exportvolumen des Hafens entspricht, unterschieden nach Ware und Jahr. Der gewichtete Durchschnittswert ergibt sich dann aus der Summe der gewichteten Transportstückkosten aller Importe/Exporte. Mit der Formel (1) werden die gewogenen durchschnittlichen Export-Transportstückkosten für Hamburg ermittelt. Der Ansatz zur Berechnung des gewogenen Durchschnitts für die Import-Transportstückkosten ist ähnlich, indem nur alle Ursprünge nach Hamburg berücksichtigt werden.

$$W_{dcy} = \frac{V_{dcy}}{\sum_{d=1}^D V_{dcy}}$$

$$WUTC_{cy} = \sum_{d \in D} (W_{dcy} * UTC_{dcy}) \quad (1)$$

In Gleichung (1):

V_{dcy} = Handelswert von Hamburg nach dem Bestimmungsschwerpunkt d für die Ware c im Jahr y,

W_{dcy} = Gewicht des Handels von Hamburg zum Bestimmungsschwerpunkt d für die Ware c im Jahr y,

UTC_{dcy} = Transportstückkosten zwischen Hamburg und dem Bestimmungsschwerpunkt d (USD/Tonnen-km),

$WUTC_{cy}$ = Gewichtete Export-Transportstückkosten für Hamburg für die Ware c im Jahr y.

GEM-E3: Ein globales Wirtschaftsmodell zur Simulation der Funktionsweise des Wirtschaftssystems (nach Ländern) mit besonderem Schwerpunkt auf der Darstellung von bilateralen Handelstransaktionen nach Herkunft-Ziel-, Produkt- und Transportmodell. Der Schwerpunkt liegt auf dem globalen Handelsvolumen von Gütern, die über den Seeverkehr transportiert werden. GEM-E3 ist ein hochmodernes Modell (mit dem Wissen aus über 20 Jahren Modellentwicklung – es wird kontinuierlich zur Unterstützung der Folgenabschätzung einer Reihe von politischen Maßnahmen eingesetzt), das in der Lage ist, die Interdependenzen der Märkte und die Entscheidungen der Wirtschaftsakteure auf globaler Ebene zu simulieren. Das Modell erfasst Veränderungen im Welthandel, die durch Wettbewerbsfähigkeit, politische Maßnahmen/Vorschriften/Standards, Infrastruktur, Preise und Angebots-/Nachfragebeschränkungen bedingt sind. Die Darstellung des Warenhandels umfasst zahlreiche Faktoren, die für die Analyse von politischen Maßnahmen relevant sind, wie die Kosten des Seeverkehrs und des internationalen Transports, marktbasierende Instrumente wie die Kohlenstoffsteuer und die Eigenschaften der verschiedenen Länder bei der Erzeugung von Angebot und Nachfrage nach Waren weltweit.

Ein dreistufiger Modellierungsansatz

Zunächst schätzt NavigaTe den voraussichtlichen Anstieg der gesamten Investitionsausgaben (CAPEX) und Betriebskosten (OPEX) unter Berücksichtigung der Well-to-Wake-Lebenszykluskosten der Produktion und des Einsatzes von kohlenstofffreien Kraftstoffen wie grünem Methanol und Ammoniak für

verschiedene Schiffstypen aufgrund der Umsetzung des GFS und der Kohlenstoffabgabe in den Jahren 2030, 2040 und 2050.

Zweitens rechnet IFM auf der Grundlage des voraussichtlichen Anstiegs der Schiffskosten diese Auswirkung auf den Anstieg der Transportkosten pro Einheit im Seeverkehr für alle Waren und Schifffahrtsrouten weltweit um. Die Berechnung berücksichtigt das Volumen der auf den verschiedenen Routen transportierten Güter und die verschiedenen Kostenanteile in der intermodalen Transportkette, einschließlich Hinterland- und Seetransport, um den voraussichtlichen Anstieg der Transportkosten im Seeverkehr zu ermitteln.

Drittens nutzt GEM-E3 den Anstieg der Seetransportkosten, um die Verschiebung der Handelsströme zwischen den Ländern abzuschätzen, die sich in der Veränderung der Import-/Exportwerte aller Waren nach Seeverkehrsträger in/aus Hamburg widerspiegelt. Die Wertveränderungen umfassen sowohl die Veränderungen der Volumina als auch die Veränderungen der relativen Preise. Die Auswirkungen der Vorschläge der EU-Kommission für die Dekarbonisierungsmaßnahmen der IMO lassen sich aus den Veränderungen des Seehandelswertes ableiten, indem die Veränderung der Import-/Exportwerte zwischen BAU-Szenario und Szenario mit Richtlinien und Maßnahmen für jede Ware verglichen wird.

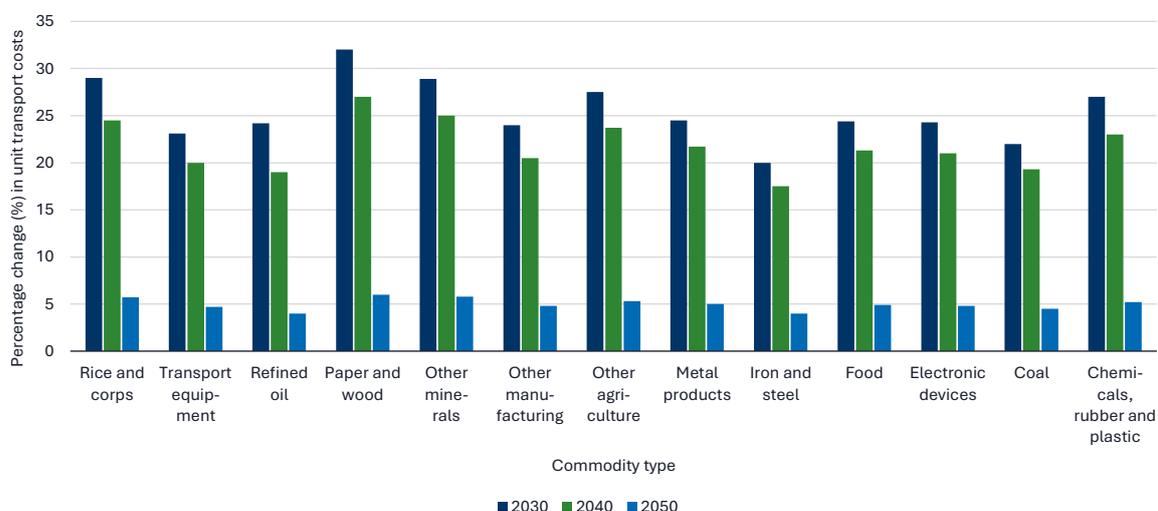
Da die Ergebnisse von GEM-E3 auf einer breiteren regionalen Ebene dargestellt werden, die mehrere Länder innerhalb einer einzigen Region umfasst, ist es notwendig, diese regionalen Handelsmuster in Handelsbeziehungen von Ländern und Hafenstädten aufzuschlüsseln. Um dies zu erreichen, wird das Handelsdisaggregationsmodul von IFM verwendet.

Um den potenziellen Rückkopplungseffekt der Veränderung des Handelswerts auf die Seetransportstückkosten, beispielsweise aufgrund von Skaleneffekten, zu bewerten, verwenden wir diese Veränderung des Handelsvolumens, um die von IFM geschätzten Transportkosten anzupassen. Konkret wird eine in der Studie spezifizierte Elastizität der Transportkosten im Handel von (Camisón-Haba and Clemente-Almendros, 2020[144]) verwendet.

Weitere Modellierungsergebnisse

Anhang Abbildung 3.A.1 Auswirkung auf die Import-Transportstückkosten nach Hamburg (%)

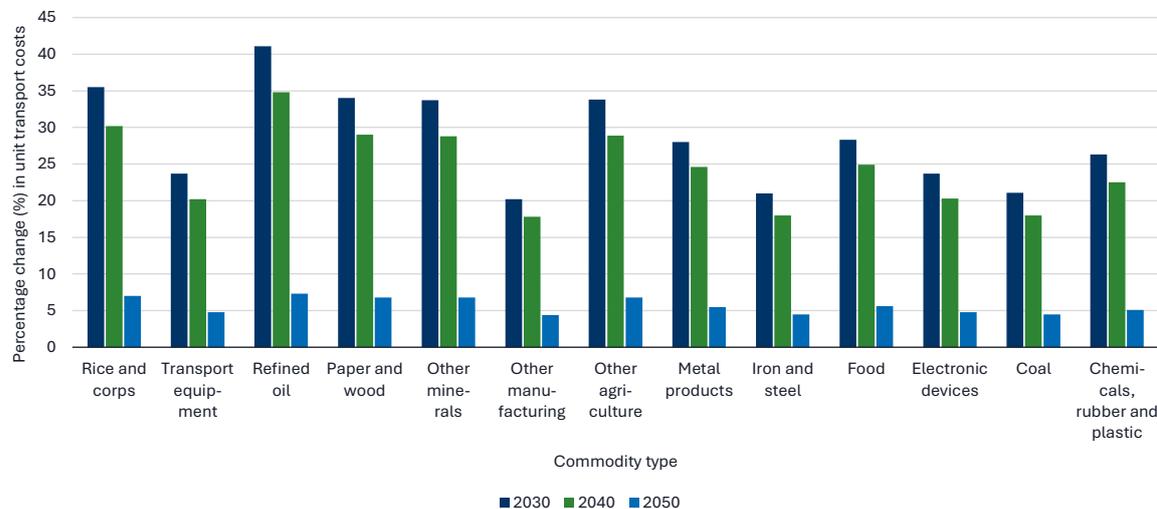
Percentage change (%) in import unit transport costs (USD/ton-km) of Hamburg in terms of commodity types across the year compared to business as usual



Quelle: (Equitable Maritime Consulting, 2023[6]).

Anhang Abbildung 3.A.2 Auswirkung auf die Export-Transportstückkosten von Hamburg (%)

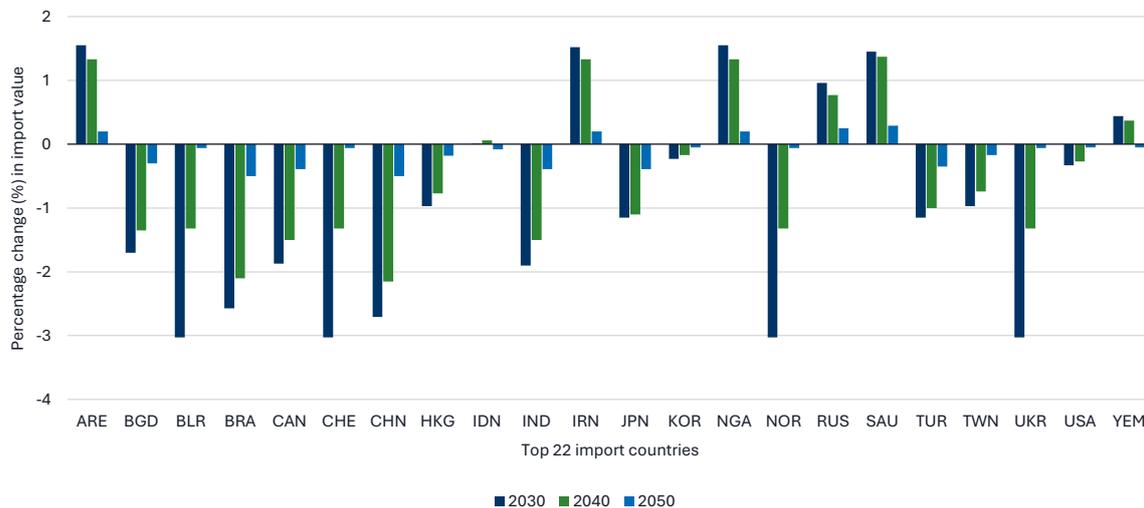
Percentage change (%) in export unit transport costs (USD/ton-km) of Hamburg in terms of commodity types across the year compared to business as usual



Quelle: (Equitable Maritime Consulting, 2023[6]).

Anhang Abbildung 3.A.3 Auswirkungen auf den Importwert aus den 22 wichtigsten Ländern nach Hamburg (%)

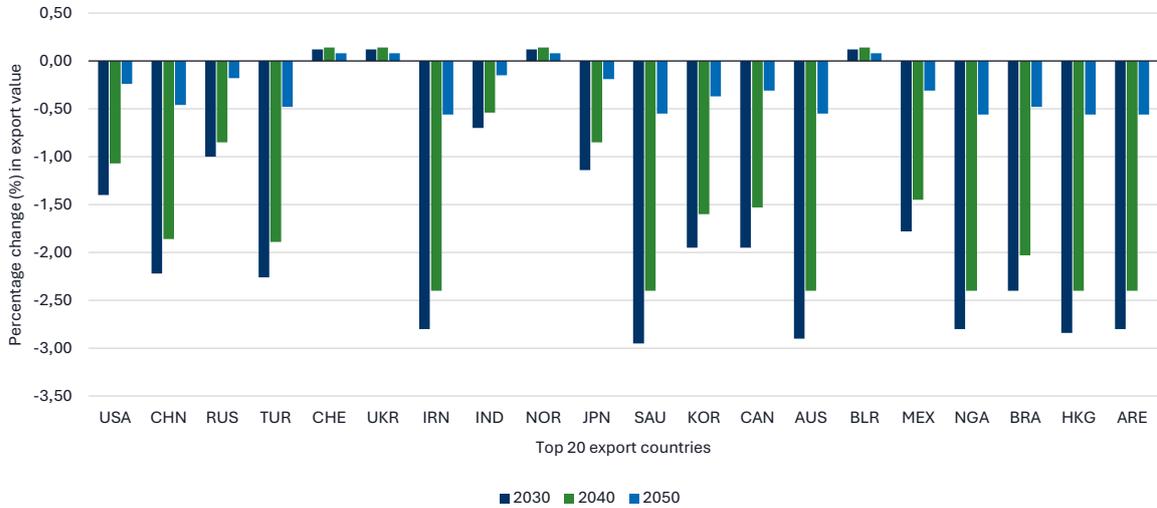
Percentage change (%) in import of Hamburg (Billion USD) from top countries across the years compared to business as usual



Quelle: (Equitable Maritime Consulting, 2023[6]).

Anhang Abbildung 3.A.4 Auswirkung auf den Exportwert von Hamburg in die 20 wichtigsten Länder (%)

Percentage change (%) in export of Hamburg (Billion USD) to top 20 countries across the years compared to business as usual

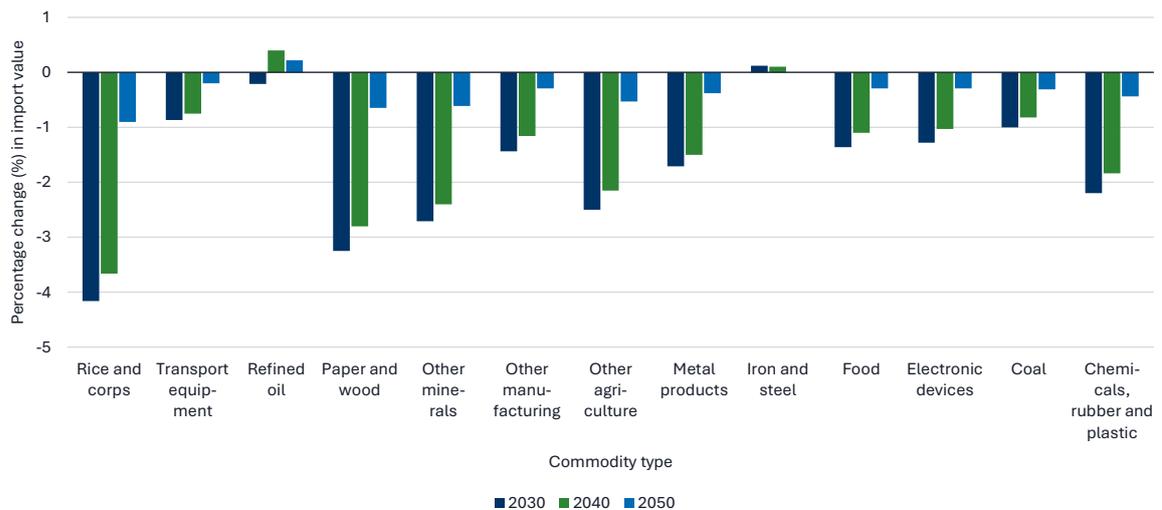


Quelle: (Equitable Maritime Consulting, 2023[6]).

Der Vergleich der verschiedenen Jahre zeigt Ähnlichkeiten mit den Ergebnissen der absoluten Veränderungen. Die prozentual am stärksten betroffene Ware sind jedoch nicht mehr Nahrungsmittel. Stattdessen ist der prozentuale Rückgang der Importe bei Reis und Feldfrüchten mit 4,1 % im Jahr 2030 am stärksten. Außerdem geht der Exportwert von raffiniertem Öl um etwa 8 % zurück.

Anhang Abbildung 3.A.5 Auswirkungen auf den Importwert jeder Warenart nach Hamburg (%)

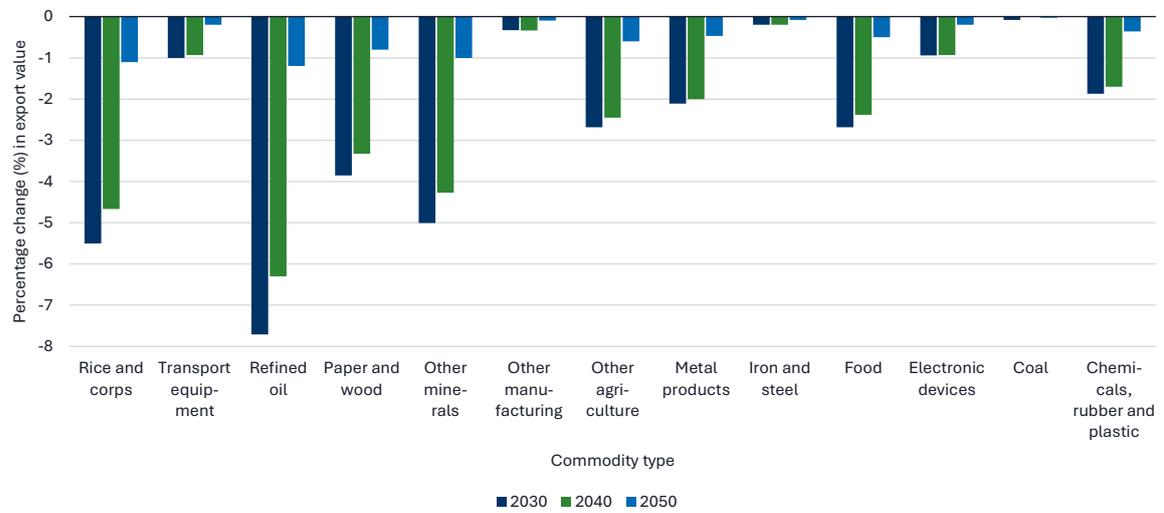
Percentage change (%) in import of Hamburg (Billion USD) in terms of commodity types across the years compared to business as usual



Quelle: (Equitable Maritime Consulting, 2023[6]).

Anhang Abbildung 3.A.6 Auswirkung auf den Exportwert jeder Warenart aus Hamburg (%)

Percentage change (%) in export of Hamburg (Billion USD) in terms of commodity types across the years compared to business as usual



Quelle: (Equitable Maritime Consulting, 2023[6]).

4. Die Kreislaufwirtschaft als Motor für Klimaneutralität

In Kapitel 4 wird zunächst argumentiert, dass der Übergang zu einer Kreislaufwirtschaft wirksam zur Erreichung der Klimaneutralität im Wirtschaftssektor beitragen kann, und es wird die Rolle der Unternehmen bei diesem Übergang aufgezeigt. Das Kapitel analysiert dann die aktuellen und geplanten Initiativen zur Kreislaufwirtschaft, die von der Behörde für Umwelt, Klima, Energie und Agrarwirtschaft der Stadt Hamburg (BUKEA) geleitet werden. Es bietet eine internationale Literaturübersicht über die Rolle des Unternehmenssektors bei der Förderung der Kreislaufwirtschaft und hebt die wichtigsten Hindernisse bei der Umsetzung hervor. Das Kapitel schließt mit einer Darstellung, wie die Stadt Hamburg und die Handelskammer Hamburg die Kreislaufwirtschaft durch neue Geschäftsmodelle fördern können.

Der Übergang zur Kreislaufwirtschaft als Mittel zur Erreichung der Klimaneutralität

Eine Kreislaufwirtschaft (Kasten 4.1) kann helfen, die Treibhausgasemissionen zu reduzieren und zur Klimaneutralität beizutragen. Die Materialwirtschaft ist für bis zu zwei Drittel der globalen Treibhausgasemissionen verantwortlich. Voraussichtlich würden die Treibhausgasemissionen im Zusammenhang mit der Materialwirtschaft ohne neue politische Maßnahmen zwischen 2017 und 2060 um 66,6 % steigen, von 30 Gt CO₂e auf etwa 50 Gt CO₂e. Der Übergang zu einer Kreislaufwirtschaft kann die globalen Treibhausgasemissionen bis 2032 um 39 % gegenüber dem Stand von 2019 reduzieren (OECD, 2019[1]). In Städten könnte die Einführung einer Kreislaufwirtschaft in fünf Schlüsselbereichen – nämlich Stahl, Kunststoff, Aluminium, Zement und Lebensmittel – bis 2050 eine Reduzierung von insgesamt 9,3 Gt CO₂e erreichen (Ellen MacArthur Foundation, 2021[2]). Dies könnte auch durch eine erhebliche Senkung des Energieeinsatzes erreicht werden, der für den Übergang zur Klimaneutralität von zentraler Bedeutung ist. Darüber hinaus haben Produkte, die nach Kreislaufprinzipien entwickelt und hergestellt werden, in der Regel einen kleineren ökologischen Fußabdruck als ihre konventionellen Gegenstücke.

Kasten 4.1 Definition der Kreislaufwirtschaft

Weltweit gibt es mehr als 100 Definitionen, um eine Kreislaufwirtschaft zu charakterisieren (Blomsma and Brennan, 2017[3]; CIRAI, 2015[4]; Homrich et al., 2018[5]). Die OECD-Experten-Gruppe für eine neue Generation von Informationen für eine ressourceneffiziente und kreislaforientierte Wirtschaft (RECE-XG) und die UNECE Task Force zur Messung der Kreislaufwirtschaft (UNECE-TF) definieren eine Kreislaufwirtschaft als eine Wirtschaft, in der i) der Wert von Materialien in der Wirtschaft maximiert und so lange wie möglich erhalten wird, ii) der Materialeinsatz und -verbrauch minimiert wird und iii) die Entstehung von Abfall vermieden und negative Umweltauswirkungen während des gesamten Lebenszyklus von Materialien reduziert werden (OECD, 2022[6]). Der Übergang zu einer Kreislaufwirtschaft geht daher über die Abfallwirtschaft und das Recycling hinaus; er setzt Veränderungen bei den Produktions- und Verbrauchsmodellen, dem Ökodesign und der integrierten Planung voraus. Recycling spielt zwar eine wichtige Rolle bei diesem Übergang, aber Recycling ist nicht so effektiv wie die anderen „R“ der Kreislaufwirtschaft: „Reduce,

Reuse, Regenerate, Refurbish, Remanufacture und Recover“ (Reduzieren, Wiederverwenden, Regenerieren, Aufarbeiten, Wiederherstellen und Verwerten).

Laut Europäischer Kommission ist eine Kreislaufwirtschaft dann gegeben, wenn der Wert von Produkten, Materialien und Ressourcen so lange wie möglich in der Wirtschaft verbleibt, auch indem sie am Ende ihrer Nutzung in den Produktkreislauf zurückgeführt werden, wodurch die Abfallerzeugung minimiert wird (European Commission, 2015[7]).

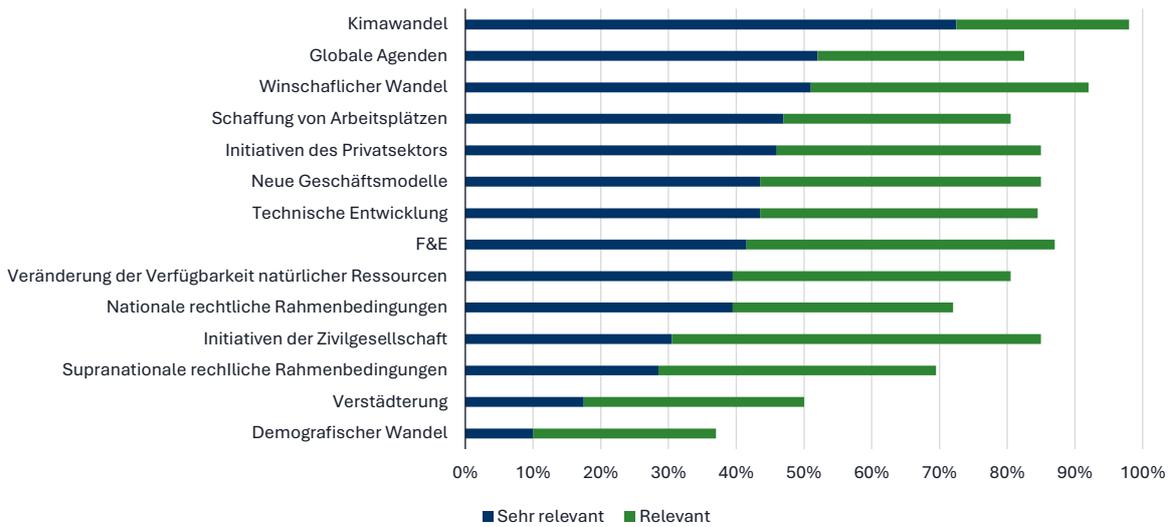
Die Ellen MacArthur Foundation beschreibt eine Kreislaufwirtschaft als eine prinzipiell restaurative und regenerative Alternative zu einer traditionellen linearen Wirtschaft (herstellen, verwenden, entsorgen) (EMF, 2013[8]).

Die Internationale Organisation für Normung (ISO) definiert die Kreislaufwirtschaft als ein Wirtschaftssystem, das einen systemischen Ansatz verwendet, um einen Kreislauf von Ressourcen aufrechtzuerhalten, indem es ihren Wert regeneriert, bewahrt oder erhöht und gleichzeitig zu einer nachhaltigen Entwicklung beiträgt (ISO, 2021[9]).

Quelle: OECD (in Vorbereitung), 21IT01 – Fortschrittliche politische Maßnahmen zur Beschleunigung der Kreislaufwirtschaft in Italien.

Die Ergebnisse der OECD (2020[10]) zeigen, dass der Klimawandel für 73 % der 51 untersuchten Städte und Regionen ein sehr wichtiger Faktor für den Übergang zu einer Kreislaufwirtschaft ist¹ (Abbildung 4.1). Mehrere Strategien der Kreislaufwirtschaft auf nationaler und subnationaler Ebene erkennen die Bedeutung der Kreislaufwirtschaft für das Erreichen der Klimaneutralität an. Beispielsweise setzt die spanische Strategie für die Kreislaufwirtschaft (España Circular 2030) das Ziel, bis 2050 Klimaneutralität zu erreichen (Government of Spain, 2020[11]). In Schottland (Großbritannien) zielt Making Things Last: A Circular Economy Strategy for Scotland darauf ab, den Klimawandel zu bekämpfen und die durch den Konsum von Gütern entstehenden Emissionen einzudämmen, da eine stärker kreislaforientierte Wirtschaft die Kohlenstoffemissionen bis 2050 schätzungsweise um 11 Mt pro Jahr reduzieren könnte (Scottish Government, 2016[12]). London (Großbritannien) setzt auf Kreislaufwirtschaft, um einen wesentlichen Beitrag zum Ziel des Bürgermeisters zu leisten, bis 2050 eine kohlenstofffreie Stadt zu schaffen (OECD, 2020[10]). Die Stadt Joensuu (Finnland) plant Maßnahmen zur Kreislaufwirtschaft im Rahmen ihres laufenden Klimaprogramms, das eine kohlenstoffneutrale Stadt bis 2025 zum Ziel hat. Für die Stadt Umeå (Schweden) stellt der Übergang zu einer Kreislaufwirtschaft ein Paradigma dar, um Unternehmen zu stimulieren und gleichzeitig das Umweltziel der Kohlenstoffneutralität bis 2040 zu erreichen, während Glasgow (Großbritannien) durch innovative Lösungen die erste Kreislaufstadt in Schottland werden will, um bis 2030 Kohlenstoffneutralität zu erreichen ((OECD, 2020[13]), (OECD, 2021[14])).

Abbildung 4.1 Triebkräfte der Kreislaufwirtschaft in den befragten Städten und Regionen



Anmerkung: Die Ergebnisse basieren auf einer Stichprobe von 51 befragten Stadtvertretern.

Quelle: OECD (2020[10]), The Circular Economy in Cities and Regions: Synthesis Report, OECD Urban Studies, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/10ac6ae4-en>.

Die Kreislaufwirtschaft gewinnt in mehreren Städten an Dynamik, wobei der Schwerpunkt auf bestimmten Sektoren liegt. Rotterdam (Niederlande) beispielsweise legt den Schwerpunkt auf die Verringerung von Textilabfällen und die Steigerung des Recyclings, indem es den Austausch von Altkleidern fördert und eine chemische Recyclinganlage für die Behandlung ausrangierter Textilien eröffnet. Seattle (USA) legt den Schwerpunkt auf den Rückbau von Gebäuden und die Einsparung von Baumaterialien. Stockholm (Schweden) entwickelt ein digitales System, um das Recycling für die Öffentlichkeit zugänglicher zu machen. Viele deutsche Städte machen Fortschritte bei der Umstellung, indem sie die Grundsätze der Kreislaufwirtschaft in ihre Abfallwirtschaftspläne aufnehmen (z. B. München), Emissionsreduktionsziele mit dem Übergang zu einer Kreislaufwirtschaft verknüpfen (z. B. Berlin, Freiburg, München) oder Geschäftsmodelle mit Kreislaufwirtschaft einführen (Aachen, Frankfurt) (Kasten 4.2).

Kasten 4.2 Maßnahmen deutscher Städte für den Übergang zu einer Kreislaufwirtschaft

Mehrere deutsche Städte unternehmen Schritte in Richtung einer Kreislaufwirtschaft:

- Im Jahr 2021 verpflichtete sich die Stadt **Aachen**, die Grundsätze der Kreislaufwirtschaft in die Verfahren der Verwaltung, die Entwicklungsstrategien und die Stadtplanung zu integrieren, und zwar unter Beteiligung der Bürger.
- 2016 trat die Stadt **Freiburg** dem EU-Interreg-Alpenraumprojekt Greencycle bei, um CO₂-Emissionen zu reduzieren und ein ganzheitliches Kreislaufwirtschaftssystem zu entwickeln. Im Rahmen des Projekts hat Freiburg 12 Schlüsselprinzipien für den Übergang zu einer Kreislaufwirtschaft identifiziert, darunter die Integration von Grundsätzen der Kreislaufwirtschaft in die lokalen politischen Maßnahmen, die Verfolgung der Ziele für nachhaltige Entwicklung, die Förderung von Zusammenarbeit, Bildung, nachhaltigem Konsum, Innovation, Infrastrukturinvestitionen sowie Überwachung und Messung.

- Die Stadt **Frankfurt** ist auf dem Weg zu einer Kreislaufwirtschaft, indem sie einen Ansatz verfolgt, der auf der Verbesserung der Abfallvermeidung und -behandlung basiert. Die Stadt will abfallfrei werden, indem sie den Anteil der recycelten Abfälle (derzeit nur 45 %) deutlich erhöht und das gesamte Abfallaufkommen reduziert, das schätzungsweise 280.000 Tonnen pro Jahr beträgt. Zu den Initiativen gehören die Bekämpfung der Lebensmittelverschwendung durch die Teilnahme am Netzwerk „Cities against Food Waste“ und die Unterstützung des Aufbaus eines Re-Use-Netzwerks in Hessen, um die Zusammenarbeit zwischen Abfallwirtschaftsbetrieben, Secondhand-Läden und Reparaturinitiativen zu verbessern.
- Die Stadt **München** hat einen Beschluss zur Förderung der Umsetzung einer Kreislaufwirtschaft und einer Null-Abfall-Strategie im Jahr 2020 gefasst. Der Beschluss unterstreicht die Bedeutung der Zusammenarbeit und der Vernetzung der verschiedenen Akteure in der Stadt und betont die Notwendigkeit, den Status und das Potenzial der Materialströme zu analysieren. Darüber hinaus hat der Abfallwirtschaftsbetrieb München (AWM) im Jahr 2016 das Projekt Halle 2 ins Leben gerufen, um Synergien zwischen der Abfallsammlung und der Wiederverwendung zu schaffen, indem ein Secondhand-Lager eröffnet wird, das sich aus den Gebühren für die Abfallsammlung finanziert.
- Im Jahr 2021 verabschiedete die Stadt Berlin den Abfallwirtschaftsplan (2020–2030), der als Planungswerkzeug mit dem Schwerpunkt der Stärkung einer Kreislaufwirtschaft dient, die der Abfallvermeidung, der Wiederverwendung und dem Recycling Priorität einräumt. Zwischen 2020 und 2022 trug die Umsetzung der Strategie dazu bei, über 900.000 Tonnen CO₂-Emissionen zu reduzieren und etwa 2,2 Mt Primärrohstoffe pro Jahr einzusparen.

Quelle: OECD (2020[10]), The Circular Economy in Cities and Regions: Synthesis Report, OECD Urban Studies, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/10ac6ae4-en>; Erklärung der Kreislaufstädte (aktuelle Unterzeichner, 2023): Senatsverwaltung für Mobilität, Verkehr, Klimaschutz und Umwelt (2023); Null-Abfall-Strategie des Landes Berlin.

Überblick über die wichtigsten laufenden und geplanten Initiativen zur Kreislaufwirtschaft in Hamburg

Im Dezember 2021 verabschiedete die Handelskammer Hamburg (HK) eine Resolution, in der sie sich dazu verpflichtete, bis 2040 eine klimaneutrale Wirtschaft in der Stadt aufzubauen, während die Stadt gemäß dem Hamburger Klimaschutzgesetz 2020 (HmbKliSchG) bis 2045 klimaneutral werden soll (City of Hamburg, 2020[17]). Das Referat Ökologie und Wirtschaft in der Behörde für Umwelt, Klima, Energie und Landwirtschaft (BUKEA) der Stadt Hamburg ist in Zusammenarbeit mit dem Referat für Abfallpolitik damit beauftragt, die Möglichkeiten für den Übergang von einer linearen zu einer Kreislaufwirtschaft zu erkunden, und zwar auf der Grundlage eines rechtlichen Rahmens, der eine nachhaltige Abfallwirtschaft und Klimapolitik fördert (Abbildung 4.2).

Abbildung 4.2 Zeitleiste des rechtlichen Rahmens für nachhaltige Abfallwirtschaft und klimapolitische Richtlinien in Hamburg, Deutschland



Quelle: Freie und Hansestadt Hamburg (2005[18]), Hamburger Abfallgesetz; Freie und Hansestadt Hamburg (2009[19]) Recycling-Offensive für den Klimaschutz; Bundesministerium der Justiz (2012[20]), Bundesabfallvermeidungs-, -verwertungs- und -beseitigungsgesetz; Stadt Hamburg (2011[22]), Hamburger Recyclingverordnung; Stadt Hamburg (2013[23]), Masterplan für den Klimaschutz in Hamburg; Stadt Hamburg (2017[24]), Abfallwirtschaftsverordnung; Stadt Hamburg (2020[25]) Hamburger Klimaschutzgesetz; und Stadt Hamburg (2020[26]), Hamburger Koalitionsvereinbarung.

Zusätzlich zu den in Abbildung 4.2 aufgelisteten Vorschriften gibt es in Deutschland und in Hamburg sektorale Abfallgesetze, die sich mit der Sammlung, Nutzung und Behandlung einer Reihe von Abfallströmen befassen, oft um spezifische Umweltauswirkungen durch schlechte Entsorgung zu verhindern. Zu diesem rechtlichen Rahmen gehören: Altfahrzeugverordnung (BMUV, 2023[27]), Altölverordnung (BMUV, 2002[28]), Gewerbeabfallverordnung (Hamburg City, 2017[29]), Batterieverordnung (BMUV, 2021[30]), Elektroaltgeräteverordnung (BMUV, 2022[31]), Altholzverordnung (BMUV, 2023[32]), Klärschlammverordnung (BMUV, 2017[33]) und die Ersatzbaustoffverordnung (BMUV, 2023[34]).

Nationale Vorschriften, die mit der Gesetzgebung der Europäischen Union im Einklang stehen, fördern ebenfalls die Einführung einer nachhaltigeren Verwendung von Materialien, um die Treibhausgasemissionen sowie andere Umweltauswirkungen, insbesondere durch Kunststoffe, zu reduzieren. Beispielsweise hat die deutsche Bundesregierung das Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG) und das Verpackungsgesetz (VerpackG) verabschiedet, um die EU-Richtlinie von 2019 über Einwegkunststoffe² umzusetzen, die darauf abzielt, kurzlebige Kunststoffverpackungen zu vermeiden und schädliche und abnehmbare Kunststoffartikel zu verbieten. Die Verordnung über das Verbot von Einwegkunststoffen (EWKVerbotsV) und die Verordnung über die Kennzeichnung von Einwegkunststoffen (EWKKennzV) traten 2021 in Kraft. Erstere verbietet die Einfuhr von Kunststoffprodukten wie Einwegbesteck, Trinkhalme, Teller, Rührstäbchen, Lebensmittelbehälter und Getränkebecher aus expandiertem Polystyrol (z. B. Schachteln mit oder ohne Deckel). Letztere schreibt die Kennzeichnung bestimmter umweltschädlicher Produkte vor, wie Einwegplastikbecher, Zigarettenfilter usw. Ab Januar 2023 wurde eine zusätzliche Bestimmung der EU-Richtlinie in nationales Recht umgesetzt, die die Endvertreiber von Einwegverpackungen verpflichtet, auch wiederverwendbare Alternativen anzubieten (City of Hamburg, 2022[35]).

Im Jahr 2022 hat BUKEA eine Studie über das Potenzial der Kreislaufwirtschaft in Hamburg beim Wuppertal Institut und dem Institut für Innovation, Klimaschutz und Kreislaufwirtschaft (HiicCE) in Auftrag gegeben. Die vorläufigen Ergebnisse der Studie deuten auf die potenzielle Rolle hin, die BUKEA spielen könnte, nämlich als Koordinations- und Kontaktstelle, als Finanzierungsinstanz und als Motor für die Bewusstseinsbildung. Die Studie unterstreicht auch (i) die Notwendigkeit einer besseren Koordinierung aller laufenden Initiativen, (ii) die unzureichende Verbreitung von Wissen über die Kreislaufwirtschaft, (iii) die begrenzte Sensibilisierung der wichtigsten Akteure, (iv) die Notwendigkeit, Unternehmen in bestimmten Bereichen zu unterstützen, z. B. bei der Gesetzgebung für die Lieferkette, der Nachhaltigkeitsberichterstattung und den digitalen Materialpässen.³

Kasten 4.3 Digitale Materialpässe: Nachverfolgung von Materialien für eine bessere Nutzung

Digitale Materialpässe bieten eine umfassende Aufzeichnung der bei der Entwicklung und Herstellung eines Produkts verwendeten Materialien. Sie zielen darauf ab, die Transparenz und Rückverfolgbarkeit zu verbessern, indem sie über digitale Open-Source-Plattformen klare Informationen über die Herkunft, die Zusammensetzung und die Umweltauswirkungen von Materialien liefern. Digitale Pässe identifizieren zum Beispiel die Materialien, die beim Bau und bei der Renovierung von Gebäuden verwendet werden. Neben anderen Vorteilen tragen sie dazu bei, die Kosten zu vermeiden, die mit der Prüfung auf gefährliche Materialien vor dem Abriss und der Wiederverwendung verbunden sind. Sie helfen auch dabei, fundierte Entscheidungen über Ressourcenmanagement, Wiederverwendung, Recycling und Abfallreduzierung zu treffen. Beispiele für digitale Materialpässe in verschiedenen Ländern sind:

- Die Stadt Mikkel (Finnland) wendet beim Abriss eines Gesundheitszentrums und eines Krankenhauses Kreislaufmethoden beim Materialmanagement an. Nach einem selektiven Abrissverfahren wird die Stadtverwaltung die zurückgewonnenen Materialien digital verfolgen, die schließlich auf einem Baustoffmarkt einer neuen Verwendung zugeführt werden sollen.
- Die Stadt Amsterdam (Niederlande) hat im Jahr 2016 Materialpässe als einen der wichtigsten Aktionspunkte ihrer Agenda für die Kreislaufwirtschaft eingeführt. Eine der vorgeschlagenen Maßnahmen bestand darin, Bauunternehmen zur Verwendung von Materialpässen zu ermutigen, indem sie Rabatte beim Grundstückserwerb anboten.

Quelle: OECD (2023), Die Kreislaufwirtschaft in Tallinn, Estland, <https://www.oecd.org/publications/the-circular-economy-in-tallinn-estonia-06abc3de-en.htm>; OECD (2020), Die Kreislaufwirtschaft in Groningen, die Niederlande, https://www.oecd-ilibrary.org/urban-rural-and-regional-development/the-circular-economy-in-groningen-the-netherlands_e53348d4-en; OECD (2020), Die Kreislaufwirtschaft in Umeå, Schweden, <https://doi.org/10.1787/4ec5dbcd-en>.

Dieses Kapitel stellt fünf Haupttypen von Aktivitäten vor, die in Hamburg auf dem Weg zu einer Kreislaufwirtschaft unternommen werden:

1. **Engagement der Wirtschaft:** 2003 gründete BUKEA die **Hamburger UmweltPartnerschaft**, ein Netzwerk von 1600 Unternehmen, die sich zu freiwilligen Umweltmaßnahmen verpflichtet haben. Die UmweltPartnerschaft bietet Unternehmen kostenlose Beratung zu Umweltmaßnahmen an. Sie bringt Partner wie den Hamburger Senat, die HK, die Handwerkskammer Hamburg, den Industrieverband Hamburg und den Unternehmensverband Hafen Hamburg zusammen. Das Arbeitsprogramm 2023–2028 räumt der Kreislaufwirtschaft Priorität ein und entwickelt eine Arbeitsgruppe für

Kreislaufftextilien (City of Hamburg, 2023[36]). Der **Circular Hub North**, der von der *Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU)* unterstützt wird, ist einer der vier Circular Hubs in Deutschland, die den Wissensaustausch und die Zusammenarbeit zwischen kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) auf regionaler Ebene fördern. Im Jahr 2023 organisierte die BUKEA in Hamburg ein Treffen mit 60 Akteuren, um das Projekt zu starten (City of Hamburg, 2023[37]). Die Initiative „aufgefangen“ schließlich wurde 2021 von der Behörde für Justiz und Verbraucherschutz in Hamburg ins Leben gerufen und fördert Lösungen gegen Lebensmittelverschwendung, an denen Supermärkte, Lebensmittelgeschäfte und Restaurants beteiligt sind.

2. **Bewusstseinsbildung und Wissensaufbau** über die Möglichkeiten einer Kreislaufwirtschaft: 2022 war die Stadt Gastgeber des „1. Hamburger Dialogs gegen Lebensmittelverschwendung“. Die Behörde für Justiz und Inneres und die Universität Hamburg brachten Experten zusammen, um praktische Lösungen zu diskutieren und Wissen über bewährte Praktiken zur Reduzierung von Lebensmittelabfällen auszutauschen (City of Hamburg, 2022[38]). In der Modebranche organisiert die Stadt „Green Fashion Tours“, bei denen Teilnehmer die Möglichkeit haben, von lokalen Designern und Geschäftsführern zu hören und zu lernen, wie sie die Prinzipien der Nachhaltigkeit und der Kreislaufwirtschaft in ihre Geschäfte integrieren, sowie die Auswahl von Materialien, Lieferanten und Produkten und das Design von Secondhand-Produkten (Hamburg Tourism Office, 2023[39]). Im Juni 2023 hat die Stadt Hamburg ihren ersten **Nachhaltigkeitsbericht** veröffentlicht. Dem Bericht zufolge und in Bezug auf das Ziel 12 für nachhaltige Entwicklung hinsichtlich nachhaltiger Produktion und nachhaltigem Konsum wendet die Stadt als Verpflichtung aus dem KrWG eine fünfstufige Abfallhierarchie an, wobei die Abfallvermeidung die höchste Priorität hat, gefolgt von Wiederverwendung, Recycling, Energierückgewinnung und Entsorgung. Zwischen 2015 und 2020 ist die Abfallmenge pro Einwohner von 0,45 auf 0,44 Tonnen gesunken, was einen gewissen Fortschritt bei der Einhaltung dieser Abfallhierarchie widerspiegelt (City of Hamburg, 2023[40]). BUKEA plant die Entwicklung einer Kreislaufwirtschaftsstrategie für Hamburg mit dem Schwerpunkt Geschäftsentwicklung und konkreter Maßnahmen zum Aufbau von Wissen über die Kreislaufwirtschaft in Hamburg. Der **Hamburger Hafenentwicklungsplan 2040**, der im Jahr 2023 eingeführt wurde, enthält ebenfalls Maßnahmen zur weiteren Stärkung und Ausweitung der Kreislaufwirtschaft im Hafen und zur Steigerung der Ressourceneffizienz, vor allem in der bebauten Umwelt und der Infrastruktur. In dem Plan enthaltene Maßnahmen sind u. a.: Sanierung und Aktivierung kontaminierter Böden, Erhöhung der Flächeneffizienz in Gebäuden durch mehrstöckige Konstruktionen, Zusammenarbeit mit der Stadt Hamburg bei der Erforschung geeigneter Flächen für die Lagerung von Erdreich, regelmäßige Verwendung von Altasphalt beim Bau neuer Straßen und Nutzung von Abfällen aus dem Hafenbetrieb zur Wärmeversorgung (Hamburg City, 2023[41]).
3. **Netzwerke:** 2019 wird Hamburg die erste **deutsche Fab City**, zusammen mit 41 Städten auf der ganzen Welt. Die internationale Fab City Foundation hat sich zum Ziel gesetzt, die urbane Wirtschaft der Fab Cities bis 2054 vollständig in eine Kreislaufwirtschaft umzuwandeln, in der keine physischen Güter oder Rohstoffe importiert oder exportiert werden und in der alle verbrauchten Produkte vor Ort hergestellt werden. Das von der Behörde für Wirtschaft und Innovation finanzierte Projekt Fab City Hamburg zielt darauf ab, Wissenschaft und Forschung, Umweltschutz, öffentliche Bildung und berufliche Schulung sowie Kunst und Kultur zu fördern. Im Rahmen des Projekts Fab City Hamburg organisiert BUKEA Workshops zur Bewusstseinsbildung (Fab City Hamburg, 2022[42]). Hamburg nimmt an dem Projekt **Kreislaufstadt – Chancen für Resilienz und Wertschöpfung** teil, das vom Deutschen Institut für Urbanistik (Difu) geleitet wird. Ziel des Difu ist es, Kommunen bei der Entwicklung einer eigenen stadtweiten Kreislaufwirtschaftsstrategie zu unterstützen, die auf den politischen und rechtlichen Rahmenbedingungen und dem Wissen bereits aktiver Kreislaufwirtschaftsstädte und -initiativen basiert. Das Projekt findet von Juli 2023 bis Februar 2025 statt (Difu, 2023[43]).

4. **Leitlinien:** Die Website der Stadt Hamburg enthält klare **Leitlinien**, wie die Bürger Altkleider an die Hamburger Stadtreinigung (SRH), den größten Dienstleister für die Sammlung und Behandlung von Abfällen in der Stadt, spenden können. Zu den Einrichtungen der SRH gehören zwei Secondhand-Kaufhäuser und 12 Recyclinghöfe, auf denen die Bürger wiederverwertbare Alttextilien in kleinen Mengen von bis zu 1 m³ direkt und kostenlos abgeben können. Lumpen und Reste aus der Vorsortierung werden gegen eine Gebühr als Restmüll angenommen. Hamburg bietet Informationen über Preise und Gebühren für gewerbliche Kunden und eine Liste der Sammelstellen für Alttextilien in der Stadt. Darüber hinaus bietet die Verbraucherzentrale Hamburg Informations- und Beratungsdienste für Verbraucher an, um die Markttransparenz zu erhöhen. Auf ihrer Website findet sich eine Liste von Stellen, an denen Bürger ihre Altkleider spenden können (Hamburg Consumer Advice Centre, 2022[44]). Auf der Website der Stadt finden sich Informationen zu den Regeln und rechtlichen Rahmenbedingungen für Lagerhäuser (Fairteiler), in denen sowohl Haushalte als auch Unternehmen genießbare Lebensmittel spenden können. Die gespendeten Lebensmittel werden in Kühlschränken und auf Regalen gelagert und der lokalen Bevölkerung kostenlos zur Verfügung gestellt (City of Hamburg, 2023[45]). Darüber hinaus fördert das Hamburger Tourismusamt „*Hamburg Tourismus*“ nachhaltige Tourismuspraktiken, indem es bei Besuchern für umweltfreundliche Verkehrsmittel und Unterkünfte sowie für nachhaltige Aktivitäten wirbt. Seit 2018 ist das Tourismusbüro mit dem Green-Globe-Zertifikat ausgezeichnet, das seine Anstrengungen um die Reduzierung des Ressourcenverbrauchs, die Minimierung von Abfällen, die Verwendung saisonaler Zutaten, die Steigerung des Recyclings, die gemeinsame Nutzung von Ressourcen und den Ausgleich von Treibhausgasemissionen würdigt (Hamburg Tourismus, 2023[46]). Das Hamburger Fremdenverkehrsamt bietet Leitlinien und Ratschläge für Touristen, die einen nachhaltigen Urlaub in der Stadt verbringen möchten, und stellt eine Liste nachhaltiger Hotels zur Verfügung, die nach verschiedenen Kriterien wie dem Verzicht auf Plastik sortiert sind (Hamburg Tourism Office, 2023[47]). Das Fremdenverkehrsamt unterstreicht die Bedeutung einer nachhaltigen Politik für den Tourismus in der Stadt, die auf der städtischen Website mit Empfehlungen zum geringeren Verbrauch von Ressourcen und Energie, zur Verringerung der Abfallproduktion und zum verstärkten Recycling anerkannt wird (Hamburg Tourism Office, 2023[48]).
5. **Fördermittel:** In Zusammenarbeit mit der Hamburgischen Investitions- und Förderbank (IFB Hamburg) hat die Stadt Hamburg zwei Förderprogramme zur Unterstützung des Übergangs zu einer Kreislaufwirtschaft eingeführt: (i) UfR – Unternehmen für Ressourcenschutz und (ii) das Programm für Innovation (PROFI) Umwelt und PROFi Umwelt Transfer. Das erstgenannte Programm, das seit 2001 besteht, zielt darauf ab, Investitionen zur Steigerung der Energie- und Ressourceneffizienz in den betrieblichen Prozessen von Unternehmen zu fördern. Das Programm bietet Darlehen und Zuschüsse von 1.000 bis 100.000 Euro für einzelne Projekte, je nach Höhe des Betrags pro jährlich vermiedener Tonne CO₂ oder pro eingesparter Tonne Material, Abfall oder Kubikmeter Wasser. Die Programme PROFi Umwelt und PROFi Umwelt Transfer fördern im Rahmen des PROFi-Programms Einzel- und Kooperationsprojekte, die die Entwicklung innovativer Produkte, Prozesse und Dienstleistungen unterstützen, die zu Einsparungen von Ressourcen und Emissionen beitragen. Die Programme stellen bis zu 500.000 Euro für Einzelprojekte und 1 Million Euro für Verbundprojekte von Unternehmen aller Größen, Branchen und Technologien sowie von Hochschulen und Forschungseinrichtungen, die mit ihnen zusammenarbeiten, zur Verfügung (IFB Hamburg, 2023[49]; 2023[50]). Unternehmen und Forschungseinrichtungen erhalten auch Zuschüsse für industrielle Forschung, experimentelle Entwicklung und Machbarkeitsstudien. Darüber hinaus beteiligt sich Hamburg an drei großen EU-finanzierten Programmen, die den Übergang zu einer Kreislaufwirtschaft unterstützen sollen. Erstens nahm die Stadt 2016 an dem **europäischen Forschungsprojekt „FORCE“** teil, das darauf abzielte, das Potenzial der Kreislaufwirtschaft in Bezug auf die Abfallvermeidung und -behandlung für vier Schlüsselmaterialien (Kunststoffe, Elektroschrott, Holzabfälle und Bioabfälle) zu demonstrieren. Als Ergebnis dieses Projekts führte Hamburg ein Tool ein, um die Bürger über den Wiederverkauf, die Reparatur, das Recycling und die Spendemöglichkeiten von Elektro- und Elektronikaltgeräten (WEEE) zu

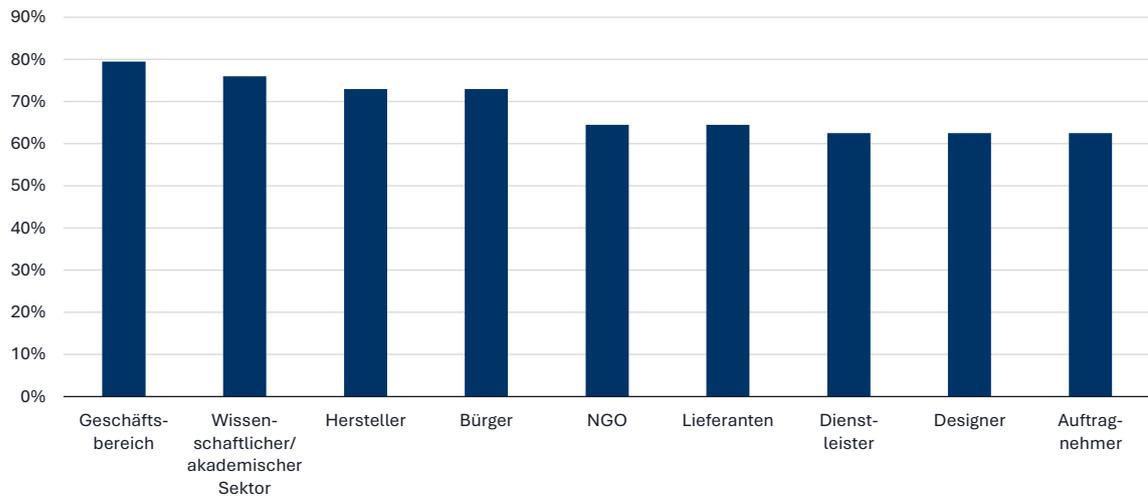
informieren (Hamburg City, 2016[51]; EC, 2022[52]). Zweitens hat sich die Stadt Hamburg zusammen mit den Städten Helsinki (Finnland), Kopenhagen (Dänemark) und London (Großbritannien) **dem Projekt Circular Construction in Regenerative Cities (CIRCuiT)** angeschlossen, das zwischen 2019 und 2023 durch das EU-Programm Horizont 2020 finanziert wird. Das Hauptziel war es, die Lücke zwischen Theorie und Umsetzung bei der Einführung von Prinzipien der Kreislaufwirtschaft im Bereich der bebauten Umwelt zu schließen. CIRCuiT richtete eine Struktur für den Wissensaustausch ein, um das Upscaling und die Replikation von Lösungen der Kreislaufwirtschaft zu ermöglichen (CIRCuiT, 2023[53]; Hamburg City, 2019[54]). Drittens nahmen die Stadt Hamburg und die HafenCity Universität 2016 an dem von der Europäischen Union im Rahmen von Horizon 2020 finanzierten **Projekt REPAiR** teil, das darauf abzielte, lokalen und regionalen Behörden eine innovative transdisziplinäre Open-Source-Umgebung zur Entscheidungsunterstützung für Geodesign (GDSE) zur Verfügung zu stellen. Das übergeordnete Ziel des Projekts bestand darin, räumliche Strategien für eine nachhaltige Entwicklung zu entwickeln und gleichzeitig die Machbarkeit und Validität der GDSE als Werkzeug zur Verbesserung der Abfall- und Ressourcenbewirtschaftung zu demonstrieren (Hamburg City, 2016[55]; REPAiR, 2023[56]).

Die Rolle des Unternehmenssektors

Einführung

Die Kreislaufwirtschaft ist eine gemeinsame Verantwortung der verschiedenen Regierungsebenen und der wichtigsten Akteure, einschließlich des Unternehmenssektors. Insgesamt 80 % der Städte und Regionen, die auf eine OECD-Umfrage geantwortet haben (2020[10]), haben den Unternehmenssektor als wichtigen Akteur bei der Entwicklung und Umsetzung von Initiativen zur Kreislaufwirtschaft genannt (Abbildung 4.3). Unternehmen und andere Wirtschaftsakteure sind in der Regel an der Entwicklung von Strategien für die Kreislaufwirtschaft beteiligt, da der private Sektor den Wandel hin zu neuen Geschäftsmodellen anführt. Beispielsweise wird in den niederländischen, finnischen und slowenischen Roadmaps die Schlüsselrolle der KMU beim Übergang zu einer Kreislaufwirtschaft anerkannt. In Griechenland umfasst die Einbeziehung der Kreislaufwirtschaft in die nationale Wachstumsstrategie Initiativen, die auf den Aufbau von Wissen sowie die Verknüpfung von Unternehmertum und Sozialwirtschaft mit technologischer Innovation abzielen (OECD, 2020[10]).

Abbildung 4.3 Art der Akteure, die an der Entwicklung von Initiativen zur Kreislaufwirtschaft in den befragten Städten und Regionen beteiligt sind



Anmerkung: Die Ergebnisse basieren auf den 51 befragten Städten und Regionen, die auf die folgende Frage mit „Ja“ geantwortet haben: „Wurden die folgenden Kategorien von Akteuren in die Gestaltung und Umsetzung der Kreislaufwirtschaftsinitiative Ihrer Stadt/Region einbezogen (oder ist dies geplant)?“.

Quelle: OECD (2020[10]), The Circular Economy in Cities and Regions: Synthesis Report, OECD Urban Studies, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/10ac6ae4-en>.

Neue Geschäftsmöglichkeiten und die Entwicklung neuer Märkte sind eine wichtige Triebkraft für Städte und Regionen beim Übergang zu einer Kreislaufwirtschaft. Insgesamt 85 % der Teilnehmer an der OECD-Umfrage halten das Entstehen neuer Geschäftsmodelle für einen sehr wichtigen oder wichtigen Faktor (Abbildung 4.1). Auch wenn es keinen Konsens über die genaue Definition eines Geschäftsmodells mit Kreislaufwirtschaft gibt, wird es in der Regel als ein „alternatives Wertangebot“ dargestellt, durch das Unternehmen ihren ökologischen Fußabdruck reduzieren können, indem sie den Wert eines bestimmten Materialinputs schaffen und erfassen (Ekins, P. et al., 2019[57]). Lahti et al. (2018[58]) argumentieren, dass „ein Geschäftsmodell mit Kreislaufwirtschaft darauf abzielt, Werte zu schaffen und zu erfassen und gleichzeitig dazu beizutragen, einen optimalen Zustand der Ressourcennutzung zu erreichen (z. B. ein Modell zu finden, das der Natur am ähnlichsten ist und dem Erreichen vollständiger Materialkreisläufe nahe kommt)“. Die Umsetzung von Geschäftsmodellen mit Kreislaufwirtschaft hat auch positive sozioökonomische Auswirkungen. Im Jahr 2019 wurde durch Kreislaufmaßnahmen (z. B. Reparatur, Wiederverwendung oder Recycling) in der EU-28 eine Wertschöpfung von rund 145 Mrd. Euro erzielt, 30 % mehr als 2012 (Eurostat, 2022[59]; Eurostat, 2022[60]). Nach Angaben der Europäischen Kommission ist der Anteil der Beschäftigung in der Kreislaufwirtschaft zwischen 2012 und 2019 um 13 % gestiegen.

Alle Sektoren sind betroffen, aber manche weisen ein größeres Potenzial in Bezug auf wirtschaftliche, soziale und ökologische Vorteile auf, einschließlich der Reduzierung von Treibhausgasemissionen. In einem Sektor einen „Kreislauf“ einzuführen, bedeutet, Wertschöpfungsketten, Produktions- und Konsumverfahren zu überdenken. „Kreislaufwirtschaft“ bedeutet, dass jeder Output ein Input für etwas anderes innerhalb und über Sektoren hinweg sein kann. Ziel ist es, Produkte und Waren durch besseres Design länger haltbar zu machen, Waren unter Verwendung von sekundären und wiederverwendbaren Materialien und erneuerbaren Energien zu produzieren und gleichzeitig die atmosphärischen Emissionen zu reduzieren, Produkte vor Ort zu produzieren und zu vertreiben und sie auf bewusste und nachhaltige Weise zu konsumieren und Abfall in eine Ressource zu verwandeln (OECD, 2020[10]).

Eine Reihe von Beispielen für Geschäftsmodelle mit Kreislaufwirtschaft, die im Folgenden beschrieben werden, betreffen den Einzelhandel und das Gastgewerbe⁴ in Hamburg. Diese Sektoren bieten Potenzial für die Entwicklung von Praktiken für die Kreislaufwirtschaft zur effizienteren Nutzung von Ressourcen. Der Einzelhandel deckt alle Aktivitäten des Wiederverkaufs von Neu- und Gebrauchsgütern (mit Ausnahme von Kraftfahrzeugen und Motorrädern) ab, hauptsächlich an die breite Öffentlichkeit für den persönlichen oder häuslichen Verbrauch bzw. Gebrauch. Der Einzelhandel spielt in den OECD-Ländern eine zentrale Rolle, da er ein Bindeglied zwischen den vorgelagerten Industrien und den Verbrauchern ist, fast 5 % zum BIP beiträgt und etwa 1 von 12 Arbeitnehmern beschäftigt (OECD, 2020[61]). Darüber hinaus trug der Tourismus- und Gastgewerbesektor vor der COVID-19-Pandemie im Jahr 2019 (bzw. dem letzten verfügbaren Jahr vor COVID-19) in den OECD-Ländern 4,4 % zum BIP bei, generiert 21 % der Dienstleistungsexporte und macht etwa 6,9 % der Gesamtbeschäftigung aus (OECD, 2022[62]). In Deutschland hat der Einzelhandel zwischen 2013 und 2021 seine CO₂-Emissionen um 33 % reduziert (National Climate Initiative, 2023[63]).

Geschäftsmodelle mit Kreislaufwirtschaft können nach einem Wertschöpfungskettenansatz klassifiziert werden, der Geschäftsmodelle in solche mit Kreislauf, mit optimaler Nutzung und mit Wertaufholung unterteilt, oder sie können auf dem Materialfluss basieren, den sie ansprechen. Die OECD (2019[57]) unterscheidet fünf Arten von Geschäftsmodellen mit Kreislaufwirtschaft, die im Folgenden beschrieben werden, und zwar: Versorgungsmodelle mit Kreislaufwirtschaft, Modelle zur Ressourcenerückgewinnung, Modelle zur Verlängerung der Produktlebensdauer, Modelle zur gemeinsamen Nutzung und Modelle für Produkt-Service-Systeme (PSS). In der Praxis neigen Unternehmen eher dazu, mehrere Geschäftsmodelle zu kombinieren, als einem bestimmten Modell zu folgen. So kann zum Beispiel die Einführung eines Versorgungsmodells mit Kreislaufwirtschaft, bei dem strategische Beschaffungs- und Designentscheidungen bereits in der frühen Phase des Produktlebenszyklus getroffen werden, das Geschäftsszenario für die Rückgewinnung von Komponenten und Materialien im weiteren Verlauf des Lebenszyklus verbessern (OECD, 2019[64]).

Versorgungsmodelle mit Kreislaufwirtschaft ersetzen herkömmliche, aus neuen Ressourcen gewonnene Materialien durch biobasierte, erneuerbare oder wiedergewonnene Materialien, wodurch die Notwendigkeit der Gewinnung neuer Ressourcen verringert wird. Dies ist die wichtigste Art von Geschäftsmodellen mit Kreislaufwirtschaft, die von den Befragten einer Unternehmensumfrage zu Klimaneutralitätszielen und -maßnahmen unter den HK-Mitgliedern umgesetzt wurde, gefolgt von der gemeinsamen Nutzung von Investitionsgütern (29 %) und der Aufarbeitung und Wiederaufbereitung (29 %) (Abbildung 4.4). Die Antworten sind möglicherweise nicht repräsentativ, da nur ein Bruchteil der Unternehmen geantwortet hat und die Unternehmen möglicherweise eher antworten, wenn sie ein stärkeres Interesse an umweltfreundlichen Geschäftspraktiken haben. Kreislaufwirtschaftsmodelle erlauben es Unternehmen, ihre Produkte als „grün“ zu vermarkten und umweltbewusste Verbraucher anzusprechen. Sie können auch dazu beitragen, die Risiken in der Lieferkette zu kontrollieren, da die Rohstoffe, die für die Produktion wichtiger Vorprodukte verwendet werden, oft in einer begrenzten Anzahl von Ländern angesiedelt sind. Kreislaufwirtschaftsmodelle erfordern auch eine verstärkte Koordinierung innerhalb und über die gesamte Wertschöpfungskette hinweg ((OECD, 2019[64]), (Kasten 4.4)).

Kasten 4.4 Internationale Beispiele von Städten, die Kreislaufwirtschaftsmodelle umsetzen

- Im Jahr 2018 gründete Amsterdam (Niederlande) die Circular Hotels Leaders Group (*Kloppergroep*), die 12 Hotels umfasst, die aktiv Kreislaufprinzipien in ihre Geschäftsmodelle integrieren. Diese Zusammenarbeit umfasste den Austausch von Wissen, den gemeinsamen Einkauf und die Konsolidierung von Abfallströmen, die Wiederverwendung

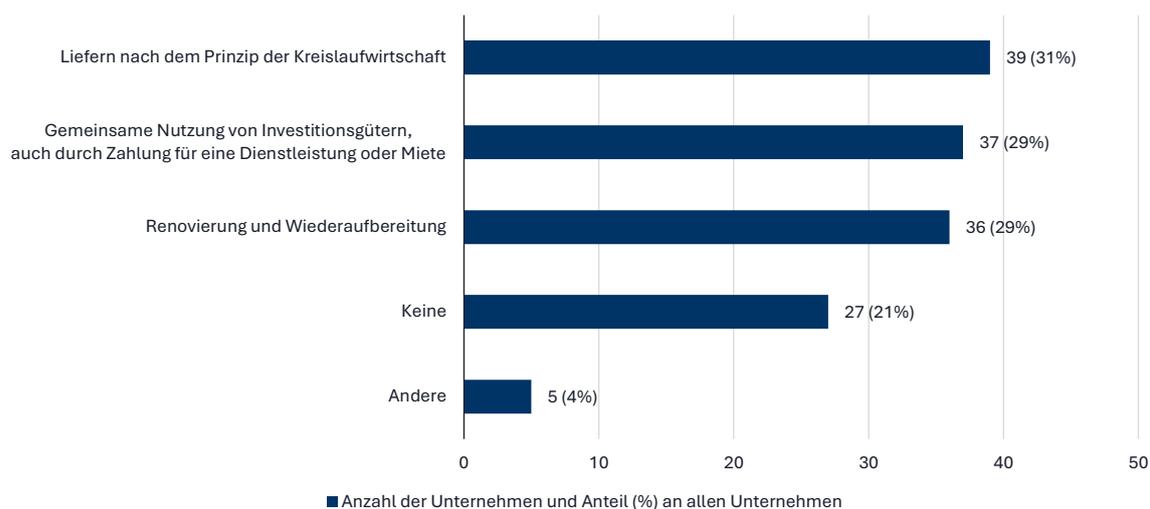
von Möbeln und Teppichfliesen, die Reparatur und Wiederverwendung von Betten, die Einführung von A-la-carte-Frühstücksoptionen und die Zusammenarbeit mit anderen Hotels bei der Beschaffung von Kreislaufprodukten, einschließlich der Vermietung von nachhaltiger Bettwäsche und Wäsche.

- Das 2008 von der Stadt Umeå (Schweden) ins Leben gerufene Netzwerk für nachhaltiges Bauen und Immobilienmanagement in kalten Klimazonen (*Nätverket för hållbart byggande och förvaltande*) vereint 55 Mitglieder aus allen Bereichen der Baulieferketten. Nachhaltigkeit und Kreislaufwirtschaft stehen im Mittelpunkt des jährlichen Mitgliedertreffens und der monatlichen Frühstückstreffen des Netzwerks. Das Netzwerk hat die Gründung einer öffentlich-privaten Partnerschaft (PPP) ermöglicht, um bis 2024 das neue Stadtviertel Tomtebo Strand zu entwickeln, das die Prinzipien der Kreislaufwirtschaft in seinen Strukturplan einbezieht.
- Das Netzwerk für nachhaltige Restaurants (*Hållbara Restauranger*) umfasst 14 Restaurants in Umeå (Schweden), die sich für nachhaltige Praktiken in der Lebensmittelindustrie und im Umgang mit Lebensmittelabfällen einsetzen. In einem größeren Rahmen ist North Sweden Cleantech eine regionale Innovationsplattform mit dem Schwerpunkt Export von grünen Technologien, sauberer Energie und nachhaltigen Lösungen durch Unternehmensförderung und Vernetzung. Derzeit sind 100 Unternehmen Teil der Plattform. Seit 2016 organisiert die Plattform Veranstaltungen zum Aufbau von Kapazitäten in der Kreislaufwirtschaft.
- In Irland ist die National Platform for Circular Manufacturing Initiative 2020–22 (CIRCULEIRE) das erste branchenübergreifende, industriegeführte Innovationsnetzwerk, das sich der Beschleunigung einer kohlenstofffreien Kreislaufwirtschaft widmet. Es handelt sich um eine öffentlich-private Partnerschaft, die das Risiko von Innovation bei Geschäftsmodellen mit Kreislaufwirtschaft verringert und diese fördert. Die Plattform wird von Irish Manufacturing Research (IMR) in Zusammenarbeit mit seinen strategischen Partnern, dem Department of Communications, Climate Action and Environment (DCCAE), der Irish Environmental Protection Agency (EPA), EIT Climate-KIC und 25 Branchenmitgliedern geleitet. Die beteiligten Unternehmen kommen unter anderem aus der Bau-, Möbel-, Verpackungs- und Materialwiederaufbereitungsbranche. Die Plattform verfügt über einen speziellen Innovationsfonds, der sektorübergreifende Projekte zur Systemintegration fördern soll.
- Der 1. Fahrplan für die Kreislaufwirtschaft von Paris (Frankreich) hat sich zum Ziel gesetzt, die Versorgung mit nachhaltigen, biologischen und verantwortungsvollen Produkten in Kantinen öffentlicher Einrichtungen (z. B. Schulen) zu fördern. Dieses Ziel ist mit der Umsetzung eines sozial- und umweltverträglicheren öffentlichen Beschaffungswesens und dem Ziel verbunden, die urbane Landwirtschaft in der Stadt auszuweiten.
- Rotterdam (Niederlande) nutzt einen digitalen Marktplatz für Baumaterialien, der Angebot und Nachfrage nach gebrauchten Bauelementen zusammenbringt und ein nachhaltiges Angebot im Bausektor fördert.
- Durch die Einbeziehung der Kreislaufwirtschaft in die Textilversorgungskette und die Wiederverwendung und das Recycling von Kleidung strebt London (Großbritannien) an, die Anzahl der zu entsorgenden Textilien zu verringern, eine Drehscheibe für das Sammeln, die Wiederverwendung und das Recycling von Textilien zu werden, sowie als bekanntes Kreislaufwirtschafts-Textildesignzentrum anerkannt zu werden. Im Jahr 2017 wurden in Großbritannien 330.000 t Textilien umgeleitet und landeten somit nicht auf Mülldeponien.

Quelle: (Network for Sustainable Construction and Real Estate Management in Cold Climates, 2013[65]), (Municipality of Umeå, 2019[66]), (North Sweden Cleantech, 2019[67]), (Irish Manufacturing Research, 2020[68]), (OECD, 2020[10]) und (Traid, 2018[69]).

Abbildung 4.4 Geschäftsmodelle mit Kreislaufwirtschaft in Hamburg, Deutschland

Hat Ihr Unternehmen eines der folgenden Geschäftsmodell mit Kreislaufwirtschaft eingeführt?



Anmerkung: Die Umfrage wurde an eine Zufallsauswahl von Unternehmen versandt, die weitgehend repräsentativ für die Gesamtheit der Hamburger Unternehmen in den von der HK betreuten Sektoren ist, obgleich Unternehmen mit weniger als 10 Mitarbeitern unterrepräsentiert sind. Der Fragebogen wurde an eine Zufallsauswahl von 2300 Unternehmen mit mehr als 10 Beschäftigten und an eine Zufallsstichprobe von 500 Unternehmen aller Größenklassen versandt. 128 Unternehmen haben geantwortet, was einer Rücklaufquote von etwa 4 % entspricht.

Quelle: Umfrage durchgeführt von HK (2023).

In Hamburg haben zahlreiche Unternehmen Praktiken eingeführt, die Kreislaufmodelle unterstützen. In der Textilindustrie liegt der Schwerpunkt dieser Praktiken auf der Wiederverwendung und Wiederverwertung von Materialien, um die Lebensdauer gebrauchter Kleidungsstücke durch Upcycling zu verlängern und sie von der Mülldeponie fernzuhalten. Das Gastgewerbe hat ebenfalls Schritte unternommen, um die Lebensmittelverschwendung durch ein effektives Management- und Messsystem zu reduzieren. Darüber hinaus haben Unternehmen der Lieferkette im Einzelhandel die Wiederverwertung von Kunststoffverpackungsabfällen erreicht.

Das Hamburger Mode-Start-up Bridge&Tunnel produziert neue Kleidung, Accessoires und Heimartikel aus einer Vielzahl von gebrauchten Textilien. Die Materialien stammen aus der Zusammenarbeit mit Kleiderkammern, Privatpersonen oder aus der Überschussproduktion von Modeunternehmen. Neben den ökologischen Vorteilen, die sich aus der Vermeidung von Materialien bei der Herstellung neuer Produkte ergeben, bietet das Unternehmen auch Beschäftigungsmöglichkeiten für sozial benachteiligte Personen und Flüchtlinge (Bridge&Tunnel, 2023[70]). Ein weiteres Beispiel aus der Modebranche ist das Start-up NONOI, das alte Kleidung aus hochwertigen Materialien wie Kaschmir, Leinen oder Wolle recycelt, um durch Upcycling neue Stücke zu kreieren (NONOI, 2023[71]).

Im Jahr 2016 hat die Hamburger Kreuzfahrtgesellschaft TUI Cruises zusammen mit Futouris und mit Unterstützung der United Against Waste Association (UaW) ein Projekt zur Reduzierung von Lebensmittelabfällen auf Kreuzfahrtschiffen gestartet, das auf einem nutzerorientierten Servicesystem basiert. TUI Cruises und UaW haben die Lebensmittelabfälle gemessen, die durch Überproduktion (Rücklauf vom Buffet) entstehen, und die Tellerreste quantifiziert. Im Rahmen des Projekts wurde auch die Verschwendung durch die Lagerung von Lebensmitteln und die Produktionsabfälle auf dem gesamten Schiff gemessen. Die Analyseergebnisse zeigten, dass 50 % der Lebensmittelabfälle von TUI Cruises im Bereich der Überproduktion anfallen, gefolgt vom Bereich Tellerreste (18 %). Im Anschluss an diese Initiative reduzierte TUI Cruises die Lebensmittelabfälle zwischen 2016 und 2017 um 17 % (TUI Cruises, 2019[72]).

Im Jahr 2020 haben die Stadtverwaltung und die Technische Universität Hamburg-Harburg (TUHH) zusammen mit anderen Akteuren aus dem Privatsektor die Hamburger Wertstoffinitiative ins Leben gerufen, um zu zeigen, wie Anreize für das Recycling auf lokaler Ebene zur Schließung von Kreisläufen beitragen können. Im Rahmen dieser Initiative zielt das Projekt „Hamburger Flasche“ darauf ab, eine Flasche herzustellen, die vollständig aus recycelten Kunststoffabfällen besteht, indem jedem Partner eine bestimmte Rolle zugewiesen wird: Die Stadtreinigung Hamburg (SRH) sammelt die Kunststoffabfälle ein, während die wichtigsten Partner aus der Privatwirtschaft für die Gewinnung von Polyethylen hoher Dichte und dessen Umwandlung in recycelbares Material sowie für die Befüllung der Flaschen mit einem bewährten Reinigungsmittel verantwortlich sind. Der lokale Drogeriemarkt Iwan Budnikowsky GmbH & Co. KG sorgt für den Vertrieb dieser Produkte an die Verbraucher in Hamburg. Neben der Steigerung des Recyclings und der Verringerung des Verbrauchs neuer Materialien zielt das Projekt darauf ab, das Bewusstsein der Kunden zu schärfen, indem sie die Recyclingprinzipien konkret demonstrieren und ihr eigener Einfluss auf die Unterstützung regionaler Kreisläufe durch ihre Kaufentscheidungen hervorgehoben wird (Interreg Europe, 2021[73]).

Modelle zur Ressourcenrückgewinnung wandeln Abfälle in Sekundärrohstoffe um, wodurch Abfälle nicht mehr entsorgt werden müssen, und die Gewinnung und Verarbeitung neuer natürlicher Ressourcen ersetzt wird. Dieses Geschäftsmodell umfasst drei Varianten: Downcycling, Upcycling und industrielle Symbiose. Beim Downcycling werden Abfälle in Sekundärrohstoffe umgewandelt. Upcycling bezieht sich auf die Umwandlung von Abfällen in Sekundärmaterialien, die anschließend in wertvollen Anwendungen eingesetzt werden. Unter industrieller Symbiose versteht man eine Situation, in der ein Unternehmen die Nebenprodukte der Produktion eines anderen Unternehmens als Input verwendet (OECD, 2019[64]). Unter den Städten, in denen sich industrielle Symbioseverfahren und -cluster befinden, fördert die Stadt Kalundborg (Dänemark) die Öko-Innovation unter acht öffentlichen und privaten Unternehmen, um Wasser und Energie wiederzuverwenden und Materialien zu recyceln. Die industrielle Symbiose in Drummond (Kanada) ist ein Netzwerk lokaler Unternehmen, die Ressourcen wie Abfallstoffe, Nebenprodukte, Ausrüstung, Platz oder sogar Energie austauschen. Manche Unternehmen, die an der industriellen Symbiose teilnehmen, verkaufen ihre Produktionsabfälle, anstatt für deren Entsorgung zu bezahlen, und erzielen so einen doppelten wirtschaftlichen Gewinn. Die Öko-Parks in Kitakyushu (Japan) erlauben das Recycling von Abfällen bei gleichzeitiger Energiegewinnung, Wassereinsparung und Schaffung neuer Geschäftschancen. Das Metropolitan Project of Industrial Symbiosis in der Metropolregion Barcelona (Spanien) koordiniert industrielle Symbioseprojekte mit Initiativen der Kreislaufwirtschaft (OECD, 2020[10]). In Schweden wird der Fahrplan für die industrielle Symbiose mit der urbanen Symbiose gekoppelt. Während die industrielle Symbiose den Austausch von Ressourcen zwischen Unternehmen erlaubt, geht es bei der urbanen Symbiose um den gegenseitigen und vorteilhaften Austausch von Ressourcen innerhalb von Stadtgebieten und zwischen verschiedenen Branchen.

Manche in Hamburg ansässige Unternehmen haben Modelle zur Ressourcenverwertung übernommen, z. B. Cirplus, ein in Hamburg ansässiger B2B-Marktplatz für recycelte Kunststoffe. Die Plattform zielt darauf ab, das Verfahren zur Abwicklung von Transaktionen für Kunststoffverarbeiter und Recyclingunternehmen zu digitalisieren und zu verkürzen. Dabei besteht das Hauptziel darin, alle Aspekte des

Transaktionsprozesses zu konsolidieren, einschließlich Suche, Verhandlung, Vertragsabschluss, Versand, Versicherung und Bezahlung von recycelten und Kunststoffabfällen, um die Kosten für recycelte Kunststoffe im Vergleich zu Neuware zu senken (Cirplus, 2023[74]). Ein Unternehmen namens Recyclehero sammelt mit elektrischen Lastenrädern in ganz Hamburg Altglas, Papier, Kleidung und Pfandflaschen von Unternehmen und Privathaushalten ein, die für das Recycling bestimmt sind. Das Unternehmen sammelt Flaschen und Kartons ein und entsorgt sie in den richtigen Behältern. Gleichzeitig bietet es den Kunden eine Abbonnementoption für die regelmäßige Abholung von Wertstoffen an. Außerdem werden bei dem Verfahren von Recyclehero Menschen in prekären Situationen, wie z. B. Langzeitarbeitslose, bevorzugt eingestellt (Recyclehero, 2023[75]).

Modelle zur Verlängerung der Produktlebensdauer verlängern die Nutzungsdauer von Produkten, verlangsamen den Durchfluss der Inhaltsstoffe durch die Wirtschaft und verringern das Tempo der Ressourcengewinnung und der Abfallerzeugung. Die Lebensdauer von Produkten kann durch Wartung, Wiederverwendung und Reparatur oder durch Aufarbeitungs- und Wiederaufbereitungsverfahren weiter verlängert werden, um die Kosteneinsparungen zu nutzen, die sich aus der Verwendung bereits vorhandener Materialien und Produkte als Input ergeben. So hat beispielsweise die Stadt Tokio (Japan) für die Feierlichkeiten zu den Olympischen Spielen 2020 Ausrüstung gemietet und nach den Spielen weitervermietet. Die Kreislaufwirtschaft wird auch bei den bevorstehenden Olympischen Spielen 2024 in Paris durch das Leasing von Materialien eine Rolle spielen (OECD, 2021[76]). Die Stadt Paris (Frankreich) betont die Notwendigkeit, die Verlängerung der Produktlebenszyklen zu erleichtern, und hat Maßnahmen zur Wiederverwertung von Informationstechnologie (IT), Telefongeräten und Möbeln ergriffen. Sie hat auch die Verabschiedung einer Charta in kulturellen Einrichtungen für die Gestaltung von umweltfreundlichen Veranstaltungen gefördert (OECD, 2020[10]). Auf nationaler Ebene liegt der Schwerpunkt des italienischen Strategierahmens für die Kreislaufwirtschaft auf dem Ökodesign von Produkten, bei dem materielle Ressourcen rationalisiert werden, indem nicht erneuerbare Materialien durch erneuerbare, recycelte, dauerhafte, biologisch abbaubare, ungefährliche und kompostierbare Materialien ersetzt werden, und Produktionsverfahren neu gestaltet werden, um mehr Produkte herzustellen, die leicht zerlegbar, recycelbar, modular (Austausch von Teilen, Rückgewinnung und Wiederverwendung von Systemen und Subsystemen) und reparierbar sind. Ein ähnlicher Schwerpunkt wird im portugiesischen Maßnahmenplan für die Kreislaufwirtschaft auf ein effizientes und kreislaforientiertes Produktdesign gelegt, wobei ein besonderer Schwerpunkt auf der Förderung der Innovation und der Verantwortung der Hersteller liegt, um Produkte herzustellen, die „für eine lange Lebensdauer konzipiert“ sind. Dazu werden Strategien zur Verlängerung der Produktlebensdauer gefördert und die Entwicklung eines Netzwerks von Reparatereinrichtungen unterstützt, indem Partnerschaften mit Kommunen zur Schulung und Verbreitung von Reparatur- und Wiederverwendungsnetzwerken aufgebaut werden.

In Hamburg bieten eine Reihe von Supermarktketten, Restaurants, Unternehmen und Start-ups wiederverwendbare Becher und Verpackungen für Getränke und Lebensmittel über Pfandsysteme an. Dabei hat die Stadtverwaltung bei deren Einführung eine führende Rolle gespielt. Seit 2016 serviert das Restaurant des Umweltamtes der Stadt Kaffee zum Mitnehmen nur noch in seinen eigenen wiederverwendbaren Porzellantassen. Auch eine Reihe von Cafeterien in öffentlichen Einrichtungen der Stadt haben diese Praxis übernommen. Im Jahr 2017 hat die Stadt Hamburg in Zusammenarbeit mit lokalen Cafés die Kampagne „Kehr.Wieder“ gestartet. Im Rahmen der Kampagne bieten mehr als 260 Lokale Kunden, die ihren eigenen Mehrwegbecher mitbringen, Rabatte zwischen 0,10 und 0,30 Euro an. Eine interaktive Karte auf der offiziellen Website der Stadt Hamburg zeigt die Standorte der Cafés, Bäckereien und Bistros an, in denen die Kunden einen Rabatt erhalten können. Von 2017 bis 2018 trug die Kampagne dazu bei, die Verwendung von etwa 120.000 Einwegbechern zu vermeiden (City of Hamburg, 2018[77]). Im Jahr 2018 schloss sich die Stadt einem weiteren Pfand- und Rücknahmesystem an, das von dem Start-up RECUP umgesetzt wurde. Bei diesem System kaufen die Kunden Kaffee zum Mitnehmen in einem Mehrwegbecher, zahlen 1 EUR Pfand auf den Becher und erhalten einen zusätzlichen Preisvorteil

gegenüber Kaffee, der in Einwegbechern verkauft wird. Diese Becher können bei einer der Partnereinrichtungen von RECUP in Hamburg und Deutschland zurückgegeben werden. Im Jahr 2018 haben auch die Gesundheitsbehörde der Stadt und die Polizeiakademie Hamburg das RECUP-System in ihren Kantinen eingeführt (City of Hamburg, 2018[77]).

Manche Unternehmen in Hamburg haben hohe Rücklaufquoten für Mehrwegbecher verzeichnet, die in manchen Fällen bis zu 99,5 % erreichen (Hamburg City, 2022[78]) (German Retail Association, 2022[79]). Auf nationaler Ebene ist auch der Handelsverband Deutschland aktiv an der Entwicklung von Mehrweglösungen beteiligt, indem er kleine und mittlere Einzelhändler bei der Umstellung unterstützt (Kasten 4.5).

Kasten 4.5 Der Handelsverband Deutschland für einen plastikfreien Einzelhandel

Der Handelsverband Deutschland (HDE) hat sich zum Ziel gesetzt, den Klimaschutz im Einzelhandel zu stärken und praktische Unterstützung auf dem Weg zur Klimaneutralität auf Bundes- und Landesebene anzubieten. Um dieses Ziel zu erreichen, hat der HDE im Jahr 2017 die Klimaschutzoffensive (KSO) entwickelt, die kleine und mittlere Einzelhändler bei der Entwicklung von Energiesparlösungen und anderen Maßnahmen zum Klimaschutz unterstützt. Die Klimaschutzoffensive ist Teil der Nationalen Klimaschutzinitiative und wird seit 2017 teilweise vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) gefördert. Der Handelsverband Deutschland schätzt, dass diese Initiative die Emissionen der Branche um 30.000 t CO₂ reduzieren könnte.

Darüber hinaus hat die KSO im Jahr 2023 einen Leitfaden mit dem Titel „Mehrweg statt mehr Müll“ zur Verwendung von Mehrwegverpackungen im Lebensmitteleinzelhandel veröffentlicht. Dieses Dokument bietet einen umfassenden Überblick über die aktuellen rechtlichen Rahmenbedingungen und Hygieneanforderungen. Es informiert auch darüber, warum Mehrweglösungen nachhaltiger sind als Kunststoffverpackungen, wie einzelne Mehrwegpoolssysteme funktionieren und wie Mitarbeiter des Einzelhandels den Kunden an der Verkaufsstelle die Vorteile von Mehrwegbehältern korrekt vermitteln können.

Im Jahr 2017 hat das deutsche Verpackungsgesetz (VerpackG) Restaurants und Einzelhändler dazu verpflichtet, wiederverwendbare Alternativen für die Bereitstellung von Lebensmitteln und Getränken anzubieten. Um dieser Vorschrift nachzukommen, hat die Klimaschutzinitiative Plakate entworfen, die Einzelhändler an der Verkaufsstelle anzeigen können, um Kunden zur Verwendung von Mehrwegprodukten zu ermutigen.

Quelle: Neuer Leitfaden zu Mehrweg im Lebensmitteleinzelhandel: <https://www.hde-klimaschutzoffensive.de/de/energie-sparen/neuer-leitfaden-zu-mehrweg-im-lebensmitteleinzelhandel> [Zugriff am 2. Oktober 2023].

Im Rahmen des Modells zur Verlängerung der Produktlebensdauer werden in den Repair Cafés in Hamburg auch Wartungs-, Reparatur- und Überholdienste angeboten. Der Zweck dieser Läden ist es, beschädigte Produkte (z. B. Smartphones, platte Reifen, Fahrräder, Fernseher) entweder gegen eine Gebühr oder auf freiwilliger Basis zu reparieren und das Wissen darüber zu verbreiten, wie man Gegenstände repariert und dabei die Umwelt schützt und einen nachhaltigen Lebensstil fördert. Auf der offiziellen Website der Stadt finden sich Informationen zu den Standorten, Terminen und Kontaktdaten von 13 Repair Cafés in Hamburg. Das Repair Café Altona zum Beispiel hat einen Workshop zur Reparatur von elektronischen Geräten eingerichtet. Experten für Elektronik treffen sich jeden Monat, um an

defekten Elektrogeräten zu schrauben, zu basteln und zu löten, und fungieren auch als Netzwerk, um Synergien zu suchen (Hamburg City, 2023[80]).

Sharing-Modelle (auch Sharing Economy oder Sharing-Plattform genannt) erleichtern die gemeinsame Nutzung nicht ausgelasteter Produkte und reduzieren gleichzeitig den Bedarf an neuen Produkten und den darin enthaltenen Rohstoffen. Dieses Modell eignet sich besonders für dicht besiedelte städtische Gebiete, um die Transaktionskosten zu senken, die mit einem vorübergehenden Wechsel des Produktbesitzes verbunden sind (OECD, 2019[64]). Mehrere Städte (z. B. Antwerpen (Belgien), Lappeenranta (Finnland), Lissabon (Portugal), Malmö (Schweden), Mailand (Italien) und Paris (Frankreich)) bieten Beispiele für die Unterstützung von Kreislaufinitiativen durch die Kommunalverwaltungen, insbesondere durch Investitionen in Kreislaufmaßnahmen mit gemeinsam genutzten kommunalen Auto- und Fahrradfuhrparks, die Entwicklung von Flächen für das Management von Logistikaktivitäten, die verstärkte Nutzung öffentlicher Verkehrsmittel, die Ausweitung nachhaltiger Transportmöglichkeiten und die Einrichtung zusätzlicher Fahrradspuren (OECD, 2020[81]). In Espoo und Helsinki (Finnland) bieten der städtische Umweltsektor und die Helsinki Metropolitan Area Transport Ltd. im Rahmen des Fahrradförderprogramms 2013–2024 einen gemeinsamen Fahrradservice an, der das ganze Jahr über in der Stadt genutzt werden kann und es erlaubt, sich während der Fahrradsaison von April bis Oktober zwischen den Städten zu bewegen (City of Espoo, 2013[82]).

Produkt-Service-System-(PSS-)Modelle beinhalten die Vermarktung von Dienstleistungen anstelle von Produkten, um Anreize für ein umweltfreundliches Produktdesign und die effiziente Nutzung von Produkten zu schaffen. Diese Modelle ermöglichen eine effiziente Nutzung natürlicher Ressourcen und können in drei Hauptvarianten unterteilt werden: produktorientierte, nutzerorientierte und ergebnisorientierte PSS-Modelle. Bei produktorientierten Modellen liegt der Schwerpunkt auf dem Produkt. In diesem Fall produzieren und verkaufen die Herstellerfirmen die Produkte weiterhin auf herkömmliche Weise, fügen aber After-Sales-Services hinzu. Nutzerorientierte Modelle ermöglichen den Zugang zu den Dienstleistungen, die mit einer bestimmten Ware verbunden sind, ohne Eigentum an der Ware selbst. *Ergebnisorientierte Modelle* ermöglichen es Unternehmen, eine Dienstleistung oder ein Ergebnis anstelle eines Produkts zu vermarkten (OECD, 2019[64]). Mehrere Städte haben diese Modelle in die Praxis umgesetzt. Die Gemeinde Bollnäs (Schweden) hat beispielsweise die „funktionale öffentliche Beschaffung“ (*funktionsupphandlingen*) angewandt, um Licht als Dienstleistung in städtischen Kindergärten und Schulen zu mieten. Der Service wird von einem Start-up-Unternehmen angeboten, das vom Gründerzentrum BIC Factory in Umeå unterstützt wurde. Der Amsterdamer Flughafen Schiphol (Niederlande) mietet ebenfalls Licht als Dienstleistung, anstatt das traditionelle Modell des Kaufs von Glühbirnen: Schiphol zahlt für das von ihm genutzte Licht, während Philips, der Anbieter, Eigentümer aller Installationen ist und die Verantwortung für Leistung und Haltbarkeit trägt, was die Anreize zur Verwendung kosteneffektiver, langlebiger Produkte erhöht.

Haupt Hindernisse bei der Umsetzung von Geschäftsmodellen mit Kreislaufwirtschaft

Die für dieses Kapitel durchgeführte Literaturrecherche zeigt eine Unterscheidung zwischen internen und externen Hindernissen aus der Unternehmensperspektive. Interne Hindernisse beziehen sich auf Entscheidungen und Strategien, die innerhalb eines Unternehmens oder von Einzelpersonen getroffen werden und die in gewissem Maße in deren Verantwortung liegen. Externe Hindernisse sind durch den operativen Kontext des Unternehmens oder der Person geprägt und liegen außerhalb der direkten Kontrolle des Unternehmens oder der Person, sodass es notwendig ist, dass die Politik eingreift, um diese zu beseitigen (Abbildung 4.5). Zu den externen Faktoren gehören zum Beispiel Herausforderungen wie „uneinheitliche politische Maßnahmen und Botschaften“ und „fehlende klare Preissignale“. Darüber hinaus können Hindernisse im Zusammenhang mit „Beschränkungen der Lieferkette und

Schwellenwerten bei Technologien und Infrastrukturkapazitäten“ Interaktionen mit anderen Unternehmen beinhalten.

Interne Hindernisse können vom Unternehmen selbst angegangen und verbessert werden. Die Hindernisse umfassen Elemente wie das „Geschäfts- und Handelsmodell“, „Wissen und Know-how“, „konkurrierende Prioritäten“, „interne Kapazitäten und Ressourcen“, „gewohnheitsmäßiges Verhalten“ und „negative Einstellungen und Kulturen“. In manchen Fällen können externe Hindernisse die internen dynamischen Kräfte der Verbesserung behindern. So kann beispielsweise eine fehlende Verbrauchernachfrage nach recycelten oder wiederaufbereiteten Produkten oder das Fehlen geeigneter politischer Maßnahmen die Motivation eines Unternehmens, interne Hindernisse zu beseitigen, erheblich einschränken. In ähnlicher Weise spiegeln finanzielle Hindernisse wie „hohe Vorlaufkosten“, „niedrige Investitionsrenditen“ und ein eingeschränkter „Zugang zu Kapital“ zwar die internen Bedingungen eines Unternehmens wider, werden aber stark von äußeren Umständen beeinflusst (Ekins, P. et al., 2019[57]).

Abbildung 4.5 Hindernisse für Unternehmen, ressourceneffizienter zu werden

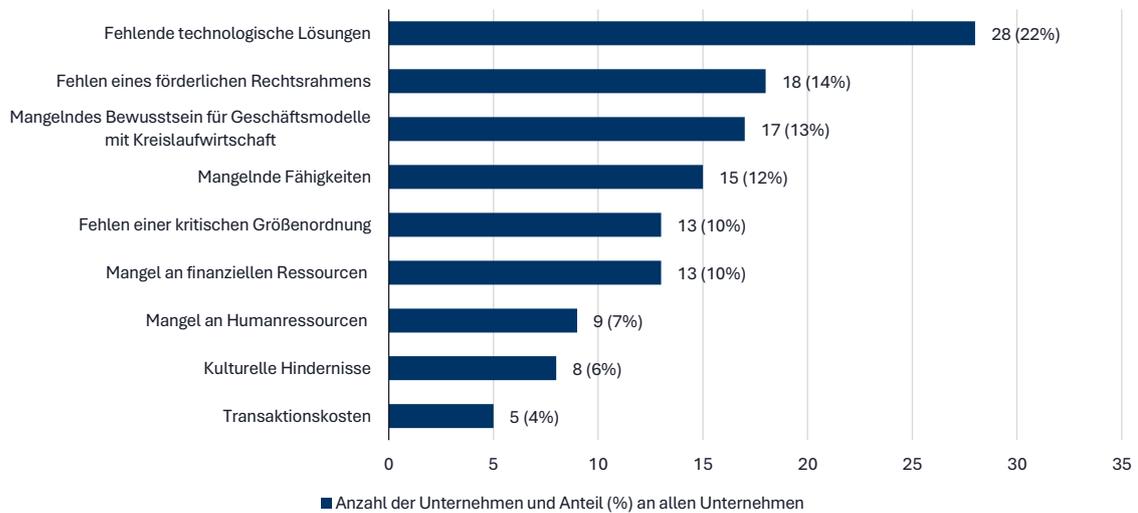


Quelle: (Ekins, P. et al., 2019[57])The Circular Economy: What, Why, How and Where, <https://www.oecd.org/cfe/regionaldevelopment/Ekins-2019-Circular-Economy-What-Why-How-Where.pdf>.

Bei der Umsetzung von Geschäftsmodellen mit Kreislaufwirtschaft auf subnationaler Ebene gibt es eine Reihe von Hindernissen, insbesondere: mangelndes Bewusstsein, unzureichende finanzielle Anreize, geringer Umfang von Kreislaufwirtschaftsmodellen und unzureichende rechtliche Rahmenbedingungen. Die Ergebnisse der HK-Unternehmensumfrage mit 126 befragten Unternehmen deuten darauf hin, dass die Haupthindernisse für die Umsetzung von Geschäftsmodellen mit Kreislaufwirtschaft in der Stadt folgende sind: fehlende technologische Lösungen (22 % der Befragten), fehlende förderliche rechtliche Rahmenbedingungen (14 %), fehlendes Bewusstsein für Geschäftsmodelle mit Kreislaufwirtschaft (13 %), fehlende Fähigkeiten (12 %), fehlende kritische Masse (10 %), fehlende finanzielle Ressourcen (10 %), mangelnde Humanressourcen (7 %), kulturelle Barrieren (6 %) und Transaktionskosten (4 %) (Abbildung 4.6).

Abbildung 4.6 Haupthindernisse bei der Umsetzung von Geschäftsmodellen mit Kreislaufwirtschaft in Hamburger Unternehmen

Haupthindernisse, die der Einführung von Geschäftsmodellen mit Kreislaufwirtschaft in Ihrem Unternehmen im Wege stehen?



Anmerkung: Die Umfrage wurde an eine Zufallsauswahl von Unternehmen versandt, die weitgehend repräsentativ für die Gesamtheit der Hamburger Unternehmen in den von der HK betreuten Sektoren ist, obgleich Unternehmen mit weniger als 10 Mitarbeitern unterrepräsentiert sind. Der Fragebogen wurde an eine Zufallsauswahl von 2300 Unternehmen mit mehr als 10 Beschäftigten und an eine Zufallsstichprobe von 500 Unternehmen aller Größenklassen versandt. 128 Unternehmen haben geantwortet, was einer Rücklaufquote von etwa 4 % entspricht.

Quelle: Umfrage durchgeführt von HK (2023).

Das regulatorische Umfeld ist noch nicht förderlich für kreislaufbezogene Innovation. Auf lokaler Ebene fördern verschiedene Vorschriften ein effizientes Abfallmanagement und die Bekämpfung des Klimawandels, aber es gibt kein strategisches Dokument, das sich mit der Kreislaufwirtschaft befasst.

Obwohl auf nationaler Ebene ein Gesetz über die Kreislaufwirtschaft verabschiedet wurde und die Bausteine der künftigen nationalen Strategie für die Kreislaufwirtschaft (geplant für 2024) festgelegt wurden, gibt es auf lokaler Ebene noch keine klare Vorstellung davon, wie die Stadt den Übergang zu einer Kreislaufwirtschaft bewerkstelligen will. In Deutschland fördert das Kreislaufwirtschaftsgesetz (2012[83]) die Grundsätze der Kreislaufwirtschaft und der umweltfreundlichen Bewirtschaftung von Abfällen, einschließlich der Erhaltung der natürlichen Ressourcen, des Schutzes der menschlichen Gesundheit und der Erhaltung der Umwelt während der gesamten Abfallerzeugung und Abfallbewirtschaftung. Das Gesetz schafft auch rechtliche Voraussetzungen, um bestimmte Abfälle zu verbieten und eine Regelung für die Sammlung, Behandlung, den Transport, die Lagerung und die Verwertung von Abfällen festzulegen. Es setzt sich auch dafür ein, das staatliche und kommunale Beschaffungswesen mit der Vision der Kreislaufwirtschaft in Einklang zu bringen und so die Märkte für innovative Produkte und Dienstleistungen zu stärken. Darüber hinaus wird die für 2024 erwartete Nationale Strategie für die Kreislaufwirtschaft darauf abzielen, den Verbrauch von Primärrohstoffen zu reduzieren, um die Marktbedingungen für Sekundärmaterialien zu verbessern und deren Haltbarkeit, Reparierbarkeit und Kreislauffähigkeit zu erhöhen. Die Grundlagen, auf denen die künftige Strategie aufbauen wird, erkennen die KMU als Hauptakteure der Kreislaufwirtschaft und als Triebkräfte der Innovation. Ein erster Schritt zur Unterstützung von Industrie und KMU besteht darin, unnötige regulatorische Hindernisse zu beseitigen und ergänzende Rahmenbedingungen zu schaffen. Dazu gehören Finanzierung von F&E für Innovation, Beratungsprogramme für ressourceneffiziente Produktion und die Weiterentwicklung von Normen und Standards. Zur

Förderung des nachhaltigen Konsums soll die Strategie Maßnahmen zur Schaffung eines geeigneten Rechtsrahmens entwickeln und die richtigen Anreize für Unternehmen und Verbraucher schaffen durch Maßnahmen zum umweltfreundlichen Produktdesign, zur Bereitstellung von Informationen (z. B. Kennzeichnung) oder zur Stärkung der Verbraucher in Bezug auf die Reparierbarkeit von Produkten (Recht auf Reparatur) (Federal Environment Ministry, 2023[84]).

Internationale Beispiele zeigen auch, dass das öffentliche Beschaffungswesen im Allgemeinen keine Anreize für die Nutzung von Geschäftsmodellen mit Kreislaufwirtschaft bietet. Die Behörden, die die Aufträge vergeben, neigen dazu, nur die Vorlaufkosten und nicht die Lebenszykluskosten (z. B. Betrieb, Wartung und Ende der Lebensdauer) zu berücksichtigen und der Preis ist oft das dominierende Kriterium für die Vergabe von Beschaffungsaufträgen. Während inzwischen zwar Umweltkriterien in das Verfahren aufgenommen werden, bleibt der Preis in der Praxis doch immer noch die vorherrschende Auswahlmethode. Außerdem besteht bei der Einführung von Umweltkriterien die Gefahr, dass Unternehmen bei Ausschreibungen leer ausgehen oder dass sich die teilnehmenden Unternehmen über die möglicherweise drohenden Konkurrenzklauseln beschweren und behaupten, dass nur große Unternehmen manche der spezifischen Anforderungen erfüllen können. In Ljubljana (Slowenien) beispielsweise erschweren rechtliche Beschränkungen bei der öffentlichen Auftragsvergabe die Entstehung und Annahme innovativer Projekte (OECD, 2020[85]). Andere rechtliche Hindernisse können die Entwicklung und Umsetzung von Strategien der Kreislaufwirtschaft behindern. In Umeå (Schweden) hängen die rechtlichen Hindernisse mit der Definition von Abfall zusammen (jedes Material gilt als Abfall, nachdem es eingesammelt wurde), was die Wiederverwendung bestimmter Materialien behindert, weil sie Umwelt- und Gesundheitsprobleme verursachen könnten (OECD, 2020[13]).

Unternehmen sind sich oft nicht ausreichend bewusst, was eine Kreislaufwirtschaft ist und wie sie die damit verbundenen Möglichkeiten nutzen können. Es fehlt allgemein an Verständnis für die möglichen Vorteile der Kreislaufwirtschaft, und das Interesse der Unternehmen ist gering. Die in diesem Kapitel beschriebenen Initiativen zeigen, dass die meisten Unternehmen, die in Hamburg an der Umstellung auf die Kreislaufwirtschaft beteiligt sind, sich der Abfallreduzierung verschrieben haben, aber nur wenige verfolgen einen vollständigen Kreislaufansatz. Insgesamt sind die wichtigsten Akteure des privaten Sektors in Hamburg nicht über die potenziellen wirtschaftlichen Vorteile von Geschäftsmodellen mit Kreislaufwirtschaft informiert. In manchen Fällen führt dies bei den Unternehmen zu der Auffassung, dass die Einführung von Prinzipien der Kreislaufwirtschaft mit erheblichen Kosten und begrenzten Aussichten auf Rendite verbunden ist. Auch internationale Erfahrungen verdeutlichen diesen Mangel an Bewusstsein im privaten Sektor. So erklärten beispielsweise in Valladolid (Spanien) mehr als 70 % der 70 im Jahr 2018 befragten Unternehmen, dass sie nicht wüssten, was die Kreislaufwirtschaft bedeute. Sie verbanden den Begriff mit der Minimierung der Abfallproduktion, dem Recycling und der Wiederverwendung und gingen davon aus, dass sie diese Verfahren bereits regelmäßig umsetzen (OECD, 2020[85]). Auch in Irland verstanden nur 51 % der Unternehmen die Bedeutung der Kreislaufwirtschaft (OECD, 2022[86]). Darüber hinaus gibt es in manchen Fällen eine Form von Skepsis bei den Akteuren, die zwar ökologische und nachhaltige Praktiken anwenden, aber den Mehrwert des Ansatzes der Kreislaufwirtschaft nicht sehen (OECD, 2022[86]). Das Fehlen von Kosten-Nutzen-Analysen für verschiedene Aktivitäten und Sektoren verlangsamt den Übergang zur Kreislaufwirtschaft. Ein begrenztes Bewusstsein für die Praktiken der Kreislaufwirtschaft und ihre Auswirkungen unter den Hauptakteuren kann die Möglichkeiten für ihre Umsetzung und Ausweitung behindern (OECD, 2020[10]).

Es gibt auch nicht genügend finanzielle Anreize, um die Einführung von Geschäftsmodellen mit Kreislaufwirtschaft zu fördern. Der Übergang von einer linearen zu einer Kreislaufwirtschaft birgt finanzielle Risiken für die Wirtschaftsakteure. Die Risiken können mit der kritischen Masse von Aktivitäten in Städten unterschiedlicher Größe oder mit Dimensionen im Zusammenhang mit Marktgröße, Bevölkerung, Materialströmen usw. zusammenhängen. 10 % der Unternehmen, die auf die HK-Umfrage geantwortet haben, haben das Fehlen einer kritischen Masse sowie den Mangel an finanziellen Ressourcen

als Haupthindernisse für die Umsetzung von Geschäftsmodellen mit Kreislaufwirtschaft genannt (Abbildung 4.6). Dennoch sind neue Materialien in der Regel preiswerter als Sekundärprodukte, trotz der Umweltauswirkungen der Ersteren, und Unsicherheiten über die wirtschaftlichen Vorteile können eine effektive Umsetzung der Kreislaufwirtschaft zum Scheitern bringen (OECD, 2020[10]). In Groningen (Niederlande) zum Beispiel führt der Mangel an finanziellen Mitteln für Innovatoren zu kleinen, risikoarmen Projekten mit begrenzter Wirkung in Bezug auf die Schaffung von Arbeitsplätzen und positiven Umwelteffekten. Lokale Unternehmer sind mit hohen Investitionsrisiken und Wartungskosten konfrontiert (z. B. Kosten für Sekundärmaterialien im Vergleich zu Neuware), und wenn Mittel aus Innovationsprogrammen für eine Kreislaufwirtschaft zur Verfügung stehen, fehlt es ihnen oft an Wissen, Fähigkeiten, Ressourcen und Zeit, um sich für Ausschreibungen zu bewerben (OECD, 2022[86]).

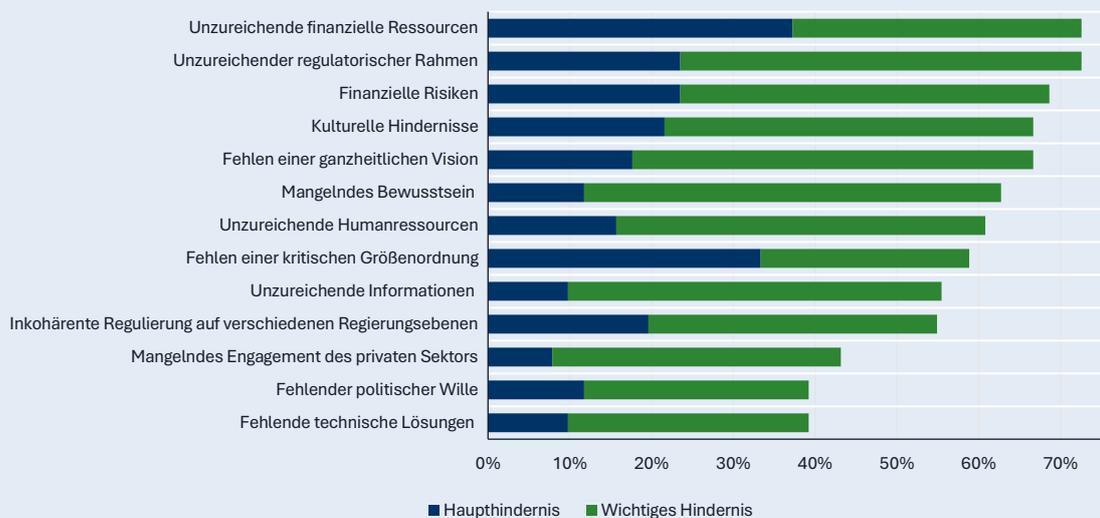
Geschäftsmodelle mit Kreislaufwirtschaft nehmen auf den meisten Märkten nur eine Randposition ein. Recycelter Zellstoff und Papier, Metalle und Kunststoffe machen nur einen kleinen Teil der weltweiten Materialproduktion aus, während wiederaufbereitete Industrie- und Konsumgüter einen noch geringeren Anteil an der weltweiten Produktion ausmachen (OECD, 2020[87]). Daher zögern die Unternehmen oft, Verfahren und Finanzierungsformen zu ändern, da sie im Vergleich zur Konkurrenz, die weiterhin nach einer linearen Logik arbeitet, keine effiziente Marktreichweite haben. Folglich gibt es Schwierigkeiten bei der Ausweitung von Pilotprojekten und Experimenten. Darüber hinaus ist die Zusammenarbeit zwischen den Akteuren entlang der Wertschöpfungskette, sowohl im vor- als auch im nachgelagerten Bereich, aufgrund der vorherrschenden Wettbewerbsdynamik oder der begrenzten Marktinteraktionen zwischen diesen Akteuren eine Herausforderung (Ekins, P. et al., 2019[57]).

Die in Hamburg festgestellten Governance-Lücken ähneln jedoch denen, mit denen auch andere subnationale Regierungen konfrontiert sind. Kasten 4.6 zeigt die wichtigsten Hindernisse, die von mehr als 50 Städten und Regionen in OECD-Ländern identifiziert wurden, und die entsprechenden fünf großen Kategorien: Finanzierung, Regulierung, politische Maßnahmen, Bewusstsein und Kapazität.

Kasten 4.6 Unzureichende Governance für den Übergang zu einer Kreislaufwirtschaft in Städten und Regionen

Ergebnisse aus dem OECD-Synthesebericht (2020[10]) „Die Kreislaufwirtschaft in Städten und Regionen“ (*The Circular Economy in Cities and Regions*) zeigen, dass die größten Hindernisse für Städte und Regionen beim Übergang zur Kreislaufwirtschaft nicht technischer, sondern wirtschaftlicher und ordnungspolitischer Natur sind (Abbildung 4.7). Mehr als ein Drittel der befragten Akteure in der OECD-Umfrage nannten unzureichende finanzielle Ressourcen, unzureichende rechtliche Rahmenbedingungen, finanzielle Risiken, kulturelle Barrieren und das Fehlen einer ganzheitlichen Vision als Haupthindernisse.

Abbildung 4.7 Haupthindernisse für die Kreislaufwirtschaft in den befragten Städten und Regionen



Anmerkung: Ergebnisse auf der Grundlage einer Stichprobe von 51 Befragten, die Hindernisse als „groß“ und „wichtig“ bezeichneten.

Quelle: OECD (2020[10]), The Circular Economy in Cities and Regions: Synthesis Report, OECD Urban Studies, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/10ac6ae4-en>.

Wichtige Maßnahmen zur Förderung von Geschäftsmodellen mit Kreislaufwirtschaft in Hamburg

Im folgenden Abschnitt werden drei Arten von Maßnahmen vorgeschlagen, die die HK durchführen kann, um von einer linearen zu einer Kreislaufwirtschaft überzugehen: (i) Sofortmaßnahmen, (ii) mittelfristige Maßnahmen, die die Stadt Hamburg in Abstimmung mit der HK und wichtigen Akteuren bis 2030 ergreifen kann, und (iii) Ziele bis 2040 für die Stadt Hamburg in Zusammenarbeit mit der HK.

Sofortmaßnahmen

Da die HK ein gesetzliches Interessenvertretungsorgan der Wirtschaft und Vermittlerin zwischen der lokalen Regierung und der Wirtschaft in Hamburg ist, kommt ihr eine wichtige Rolle bei der Förderung einer Kreislaufwirtschaft zu. Insbesondere könnte die HK auf der Grundlage internationaler bewährter Praktiken die Umsetzung der folgenden Empfehlungen als Sofortmaßnahmen in Betracht ziehen:

- **Schärfung des Bewusstseins für die Bedeutung der Kreislaufwirtschaft und die damit verbundenen Möglichkeiten, um nachhaltige Produktions- und Verbrauchspraktiken und die Übernahme von Kreislaufprinzipien zu fördern.** Beispielsweise hat die Handelskammer von Glasgow (Schottland, Großbritannien) seit 2015 in Zusammenarbeit mit dem Stadtrat von Glasgow und Zero Waste Scotland eine Reihe von Veranstaltungen zur Kreislaufwirtschaft organisiert, um das Bewusstsein zu schärfen und Kooperationen, Workshops und Plattformen für die Kreislaufwirtschaft zu erleichtern, um Ideen zu sammeln (z. B. Circle Lab Challenge) (OECD, 2021[14]). London (Großbritannien) hat in verschiedenen Unternehmen und lokalen Behörden

„Botschafter der Kreislaufwirtschaft“ rekrutiert, um die Vorteile der Kreislaufwirtschaft zu vermitteln, mit spezifischen Informationen für jeden Wirtschaftssektor und zur Sensibilisierung am Arbeitsplatz (LWARB, 2017[88]). Das Sammeln von Daten über den Fortschritt und die Auswirkungen der Kreislaufwirtschaft in Hamburg (z. B. vermiedene Lebensmittel- und Verpackungsabfälle, Anteil des Marktes für gebrauchte Textilien) könnte auch den angeschlossenen Unternehmen helfen, die Möglichkeiten der Kreislaufwirtschaft in der Praxis besser zu verstehen.

- **Kapazitäten in der Geschäftswelt aufbauen.** Die HK könnte in Erwägung ziehen, über ihre Tochtergesellschaft für Schulungen Schulungsprogramme anzubieten, die sich an Wirtschaftsakteure richten und ihnen vertiefte Kenntnisse und Werkzeuge vermitteln, damit sie ihre Kreislaufprojekte erfolgreich durchführen und neue Geschäftsmöglichkeiten entdecken können. Insbesondere in einer Vermittlerrolle und im Bildungsbereich kann die HK Einfluss auf den Inhalt von Schulungen und Programmen für lebenslanges Lernen nehmen, die intensiver für individuelle und kollektive Verhaltensänderungen genutzt werden könnten. So hat beispielsweise die Handelskammer von Valladolid (Spanien) im Jahr 2018 einen Master-Kurs zum Thema „Digitale Transformation und Kreislaufwirtschaft“ ins Leben gerufen. Auf dem Programm standen Produktlebenszyklusanalyse, Ökodesign, nachhaltige Wertschöpfungsketten und Data Mining (Valladolid Chamber of Commerce, 2019[89]). Ziel des Masterstudiengangs war es, neben der Vermittlung spezifischer Kenntnisse über die Kreislaufwirtschaft, auch das Bewusstsein der Fachleute zu schärfen. Die Handelskammer von Valladolid entwickelt zusammen mit Forschungspartnern Beratungsmodelle für Unternehmen, die Verfahren der Kreislaufwirtschaft einführen möchten (OECD, 2020[85]). In Großbritannien haben der Stadtrat von Glasgow, Zero Waste Scotland und die Handelskammer von Glasgow gemeinsam die Initiative „Circular Glasgow“ ins Leben gerufen, die darauf abzielt, bewährte Praktiken und Kapazitäten im Hinblick auf die Kreislaufwirtschaft aufzubauen, vor allem im privaten Sektor in Glasgow. Diese Initiative zielt darauf ab, Unternehmen in der ganzen Stadt miteinander zu verbinden, um Ideen auszutauschen und Kreislaufstrategien zu entwickeln, die zu den Zielen im Zusammenhang mit dem Klimawandel beitragen können (Glasgow Chamber of Commerce, 2017[90]). In Schweden organisiert die 2015 gegründete Zweigstelle Umeå der Nichtregierungsorganisation Cradlenet Norr zweimonatliche Treffen, um Herausforderungen mit verschiedenen Akteuren (z. B. KMU, städtische Behörden, Business Coaches, Universitätsforscher und Studenten) zu diskutieren, spezielle Besuche vor Ort zu organisieren und an internationalen Veranstaltungen und Plattformen zur Kreislaufwirtschaft teilzunehmen. Außerdem wurden Schulungen zu Geschäftsmodellen mit Kreislaufwirtschaft angeboten (OECD, 2020[13]).
- **Unterstützung der Hamburger Stadtverwaltung durch Marktinnovation.** Die HK könnte mit der Stadt zusammenarbeiten, um Marktinnovation durch die Schaffung von Inkubatoren, Drehscheiben und Experimentierräumen zu unterstützen, und sie könnte die Nachfrage anregen, indem sie als Erstkunde auftritt. In Groningen (Niederlande) ist beispielsweise ein Circular Economy Hub als Inkubator für kleine Unternehmen und Start-ups sowie als Informationszentrum, Reparaturzentrum und Secondhand-Laden geplant (OECD, 2020[91]). Der Tallinn Creative Incubator (Estland) bietet auf seiner Website sieben Lehrvideos an, die zeigen, wie Unternehmen und Start-ups auf eine Kreislaufwirtschaft umstellen können (Tallinn Business Incubators, 2022[92]). In Spanien hat der Unternehmerverband von Granada 2014 den „OnGranada Technologie-Cluster“ gegründet, der eine Vielzahl von Mitgliedern aus dem privaten und öffentlichen Sektor umfasst, darunter Stadt-, Provinz- und Regionalregierungen, sowie die Universität von Granada und die Handelskammer von Granada. Der Cluster integriert aktiv die Prinzipien der Kreislaufwirtschaft in Initiativen zur Wiederverwendung von Abfällen und zur Ressourceneffizienz, wie die Optimierung des Wasserverbrauchs beim Pflanzenanbau und bei der Bewässerung durch Injektionen, sowie die Erkundung von Möglichkeiten zur Umwandlung von Abfällen aus der Olivenproduktion in

Biokraftstoffe (IUC, 2020[93]). Die HK könnte auch auf laufenden Initiativen zur Förderung von Innovation für eine Kreislaufwirtschaft aufbauen. So finanzieren die HK und die Stadt Hamburg die *Innovations Kontakt Stelle Hamburg*, die die Kommunikation zwischen Unternehmen und wissenschaftlichen Einrichtungen in Hamburg unterstützt und den gegenseitigen Zugang erleichtert, indem sie potenzielle F&E-Möglichkeiten identifiziert und geeignete Projektpartner vernetzt (IKS Hamburg, 2023[94]). Außerdem unterstützt das Innovations- und Patentzentrum der HK die Mitgliedsunternehmen beim Schutz von Rechten an geistigem Eigentum, beim Patent- und Innovationsmanagement und bietet patentbezogene Beratung. Zu den Dienstleistungen der HK gehören Sensibilisierungsveranstaltungen, Unterstützung bei der Patentanmeldung, Patentpotenzialanalysen und Marktanalysen (HCC, 2023[95]).

Bis 2030

Um die Voraussetzungen für einen Übergang von einer linearen zu einer Kreislaufwirtschaft zu schaffen, könnten die lokalen und nationalen Regierungen in Absprache mit der HK und den wichtigsten Akteuren **die Einführung von Kreislaufwirtschaftssystemen durch Gesetzesänderungen und spezifische regulatorische Tools fördern**. Zu diesen Werkzeugen können eine kreislauforientierte Beschaffung, Produktnormen, Branchenziele, Standards für Sekundärmaterialien, Steuererleichterungen, differenzierte Gebührenstrukturen für die Abfallwirtschaft und Investitionsförderung gehören (EIB, 2021[96]). So hat beispielsweise die Stadt Turku (Finnland) seit 2020 eine nachhaltige Beschaffung eingeführt, um Lebensmittelabfälle und Treibhausgasemissionen aus Lebensmitteln und damit verbundenen Dienstleistungen gemäß dem finnischen Beschaffungsgesetz zu reduzieren, indem sie den Anteil vegetarischer Mahlzeiten verdoppelt und den Heizungs- und Stromverbrauch reduziert hat (City of Turku, 2020[97]). 2009 entwickelte Paris (Frankreich) einen Plan für nachhaltige Lebensmittel, um die Beschaffung von saisonalen und lokalen Lebensmitteln zu fördern, die lokale Wirtschaft anzukurbeln und die Umweltbelastung zu verringern. Der Plan umfasst 1200 städtische Mensen, darunter Schulen, Altenheime und Kantinen, in denen jährlich über 30 Millionen Mahlzeiten ausgegeben werden (City of Paris, 2015[98]).

Darüber hinaus ist es wichtig, für angemessene Anreize zu sorgen, um groß angelegte und wirkungsvolle Projekte zu fördern, indem das Angebot an Finanzierungsinstrumenten zur Unterstützung von Unternehmen auf dem Weg zur Kreislaufwirtschaft erweitert wird (von Zuschüssen bis hin zu Risikokapital) und Räume für Experimente geschaffen werden. Seit 2010 hat das Urban Lab in Paris (Frankreich) mehr als 200 Experimente begleitet und eine Methodik zur Unterstützung effektiver Experimente in 4 Hauptphasen konsolidiert: i) die Definition des Versuchsprojekts und seine Bewertung, ii) die Suche nach dem Versuchsstandort, iii) die Umsetzung der Experimente und iv) die Bewertung und Umwandlung. Um den Zugang zu diesen Versuchsflächen zu erleichtern, hat das Urban Lab 10 Jahre an der Entwicklung eines rechtlichen Rahmens gearbeitet, auf den sich Start-ups bei der Entwicklung ihrer Projekte berufen können (z. B. eine Mustervereinbarung für die Nutzung öffentlicher Räume für einen bestimmten Zeitraum. Was die Fördermittel betrifft, hat die Stadt Valladolid (Spanien) zwischen 2017 und 2018 ein Zuschussprogramm für Kreislaufprojekte durchgeführt, um die Entwicklung lokaler Kreislaufinitiativen zur Schaffung von Arbeitsplätzen und wirtschaftlichem Wohlstand zu unterstützen. Im Rahmen dieses Programms finanzierte die Stadtverwaltung 61 Projekte mit einem Gesamtbudget von 960.000 EUR, von denen vor allem Privatunternehmen, Wirtschaftsverbände, gemeinnützige Einrichtungen und Forschungszentren mit Sitz in der Stadt profitierten. Die Projekte hatten jedoch Schwierigkeiten, sich nach der Experimentierphase zu etablieren (OECD, 2020[85]). Im Jahr 2022 führte die Stadt Montreal (Kanada) den Open Innovation Grant (*subvention à l'innovation ouverte*) ein, der aufstrebende Unternehmen dazu ermutigt, mit etablierten Organisationen in der Stadt zusammenzuarbeiten, um innovative Lösungen in einem geschäftlichen Kontext zu testen, insbesondere in Bezug auf die

Kreislaufwirtschaft (OECD, 2022[99]). 2016 hat die Stadt Amsterdam (Niederlande) einen revolving-Nachhaltigkeitsfonds für Unternehmen eingerichtet, der innerhalb von 15 Jahren zu einem sehr niedrigen Zinssatz zurückgezahlt wird (OECD, 2020[13]).

Schließlich könnte die HK **als zentrale Anlaufstelle** für Mitgliedsunternehmen fungieren, die Informationen über Geschäftsmodelle mit Kreislaufwirtschaft sowie über Regulierung und Gesetzgebung suchen. Zu diesem Zweck könnte die Kammer einen thematischen Ausschuss für die Kreislaufwirtschaft einrichten, der Informationen und administrative Unterstützung in Bezug auf Projekte der Kreislaufwirtschaft für Unternehmen anbietet, zur Senkung der Transaktionskosten für Unternehmer und KMU beiträgt und die wichtigsten regulatorischen Hindernisse ermittelt. So mobilisiert beispielsweise die 2014 gegründete Initiative Start-up Slovenia ein Netzwerk von Mentoren mit unterschiedlichem Hintergrund, um Unternehmern und jungen Firmen maßgeschneiderte Beratung zu bieten. Heutzutage arbeiten manche Start-ups auch im Bereich der Kreislaufwirtschaft (OECD, 2020[10]).

Auf der Grundlage der OECD-Checkliste für Maßnahmen für den Übergang zu einer Kreislaufwirtschaft (2020[10]) könnte die Stadt Hamburg in Zusammenarbeit mit der HK die Ziele der 12 wichtigsten Governance-Dimensionen erreichen, die eine florierende Kreislaufwirtschaft bis 2040 ermöglichen würden (Kasten 4.7).

Kasten 4.7 Die OECD-Checkliste für Maßnahmen für Städte und Regionen und das OECD-Scoreboard zur Governance der Kreislaufwirtschaft

Die OECD-Checkliste für Maßnahmen für Städte und Regionen zielt darauf ab, Entscheidungsträger bei der Förderung, Erleichterung und Ermöglichung des Übergangs zur Kreislaufwirtschaft zu unterstützen (Abbildung 4.8). Die Checkliste basiert auf 12 zentralen Governance-Dimensionen, die in drei Gruppen zusammengefasst sind, die den komplementären Rollen von Städten und Regionen als Förderer, Erleichterer und Ermöglicher der Kreislaufwirtschaft entsprechen.

Die OECD-Checkliste für Maßnahmen wird vom OECD-Scoreboard zur Governance der Kreislaufwirtschaft (Abbildung 4.9) begleitet, das den Regierungen hilft, die Fortschritte bei der Umsetzung jeder der 12 Governance-Dimensionen einzustufen, nämlich Newcomer (Geplant; In Entwicklung), In progress (Vorhanden, nicht umgesetzt; Vorhanden, teilweise umgesetzt) und Advanced (Vorhanden, funktionierend; Vorhanden, Ziele erreicht).

Abbildung 4.8 Governance der Kreislaufwirtschaft in Städten und Regionen: Eine Checkliste für Maßnahmen

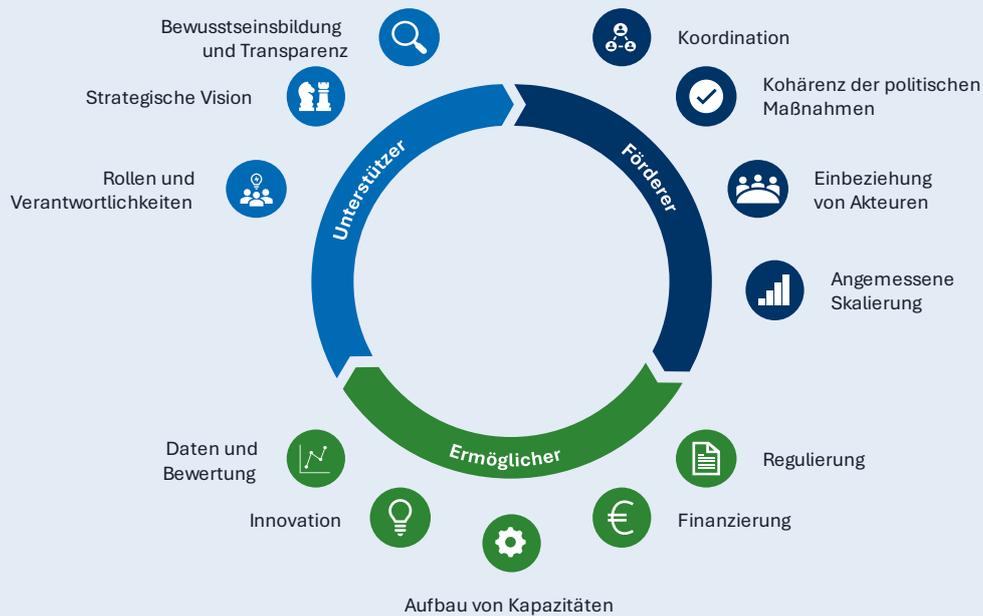
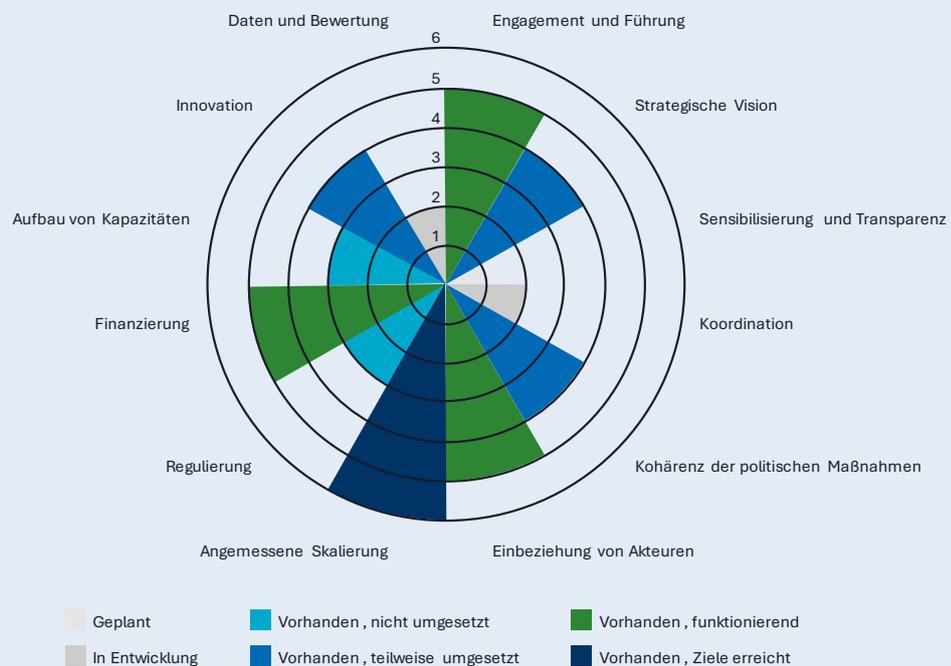


Abbildung 4.9 Visualisierung der Ergebnisse aus dem Scoreboard für Governance der Kreislaufwirtschaft



Ausgehend von den am weitesten fortgeschrittenen Umsetzungsstufen der 12 Governance- Dimensionen könnte die Stadt Hamburg in Zusammenarbeit mit der Handelskammer Hamburg die folgenden Ziele erreichen:

1. **Rollen und Verantwortlichkeiten:** Die Regierung übernimmt die Grundsätze der Kreislaufwirtschaft in allen politischen Maßnahmen und Aktivitäten. Sie hat eine Vorbildfunktion für Bürger und Unternehmen und geht mit gutem Beispiel voran. Die Rollen und Verantwortlichkeiten sind in den verschiedenen Abteilungen der Stadt Hamburg klar verteilt.
2. **Strategische Vision:** Es gibt eine Strategie für die Kreislaufwirtschaft mit spezifischen Zielen, die konsequent umgesetzt und regelmäßig überwacht und überarbeitet werden.
3. **Sensibilisierung und Transparenz:** Die Akteure sind informiert, es gibt eine klare Kommunikation. Produzenten und Verbraucher sind sich der Möglichkeiten und Mittel bewusst, die von der Regierung zur Verfügung gestellt werden, um den Übergang zu einer Kreislaufwirtschaft zu fördern.
4. **Koordinierung:** Die Koordinierungsmechanismen für die Kreislaufwirtschaft auf allen Regierungsebenen funktionieren und führen zu Maßnahmen, die überwacht und überarbeitet werden.
5. **Kohärenz der politischen Maßnahmen:** Die Ministerien bevorzugen die Koordinierung und verknüpfen die Grundsätze der Kreislaufwirtschaft mit den wichtigsten Strategien als „business as usual“. Grauzonen, Überschneidungen und widersprüchliche Ziele werden vermieden. Die Ergebnisse werden überwacht und auf weitere Verbesserungen überprüft.
6. **Einbeziehung von Akteuren:** Die Akteure werden aktiv in den Übergang zu einer Kreislaufwirtschaft einbezogen, denn die Umsetzung ist eine gemeinsame Aufgabe. Die Regierung erleichtert die Kontakte und die Zusammenarbeit.
7. **Angemessene Skalierung:** Die Initiativen zur Kreislaufwirtschaft sind in einen territorialen Ansatz eingebettet, der eher funktionale als administrative Grenzen berücksichtigt. Die Ergebnisse werden überwacht und Folgeinitiativen in Betracht gezogen.
8. **Regulierung:** Die Regulierung ist ein geeignetes Verbindungsstück, um den Übergang zur Kreislaufwirtschaft zu fördern (z. B. Masterplan für den Klimaschutz in Hamburg, Hamburger Klimaschutzgesetz, Abfallwirtschaftsverordnung). Ein Dialog zwischen den Regierungsebenen ist etabliert, wenn die Verantwortlichkeiten geteilt werden. Die Ergebnisse werden überwacht und die Initiativen ausgeweitet.
9. **Finanzierung:** Die Finanzierungsinstrumente funktionieren gut und die Auswirkungen werden überwacht (z. B. durch die Förderung der systematischen Anerkennung bewährter Praktiken durch Projektprüfungen).
10. **Aufbau von Kapazitäten:** Es werden spezifische Programme zum Aufbau von Kapazitäten durchgeführt. Sie tragen dazu bei, neue Fähigkeiten, technische Kompetenzen und neue Beschäftigungsmöglichkeiten zu schaffen.
11. **Innovation:** Das Umfeld für die Unterstützung von Kreislaufwirtschaft ist vorhanden (z. B. Vorschriften, Finanzmittel) und funktioniert. Die lokale oder regionale Regierung stellt zusätzliche Werkzeuge zur Verfügung, wie z. B. Räume für die gemeinsame Entwicklung, Netzwerke, eine zentrale Anlaufstelle für Unternehmen und Programme zum Aufbau von Kapazitäten.

12. Daten und Bewertung: Daten werden systematisch genutzt und aktualisiert, um die Gestaltung und Umsetzung der öffentlichen politischen Maßnahmen zu unterstützen und um Geschäftsmodelle mit Kreislaufwirtschaft zu fördern.

Quelle: OECD (2020[10]), The Circular Economy in Cities and Regions: Synthesis Report, OECD Urban Studies, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/10ac6ae4-en>.

Quellenangaben

- Blomsma, F. and G. Brennan (2017), “The Emergence of Circular Economy: A New Framing Around Prolonging Resource Productivity”, *Journal of Industrial Ecology*, Vol. 21/3, pp. 603- 614, <https://doi.org/10.1111/jiec.12603>. [3]
- BMUV (2023), End-of-life Vehicle Ordinance, <https://www.bmuv.de/en/topics/water-management/circular-economy-overview/overview-types-of-waste-and-waste-flows/end-of-life-vehicles/legislation-in-germany-end-of-life-vehicle-ordinance#:~:text=The%20End%2Dof%2Dlife%20Vehicle,disposal%20compatible%20with>. [27]
- BMUV (2023), Substitute Building Materials Ordinance, <http://www.bmuv.de/faqs/mantelverordnung>. [34]
- BMUV (2023), Waste Wood Ordinance, <http://www.bmuv.de/en/topics/water-management/circular-economy-overview/overview-types-of-waste-and-waste-flows/waste-wood>. [32]
- BMUV (2022), Directive 2012/19/EU on waste electrical and electronic equipment, <http://www.bmuv.de/gesetz/richtlinie-2012-19-eu-ueber-elektro-und-elektronik-altgeraete>. [31]
- BMUV (2021), Batteries Act, <http://www.bmuv.de/en/law/batteries-act>. [30]
- BMUV (2017), Sewage Sludge Ordinance, <http://www.bmuv.de/en/law/sewage-sludge-ordinance>. [33]
- BMUV (2002), Waste Oil Ordinance, <http://www.bmuv.de/en/law/waste-oil-ordinance>. [28]
- Bridge&Tunnel (2023), Sustainable design, <https://bridgeandtunnel.de/>. [70]
- CIRAIG (2015), Circular economy: A critical literature review of concepts. [4]
- CIRCulT (2023), Circular Construction in Regenerative Cities, <http://www.circuit-project.eu/>. [53]
- Circular Cities Declaration (2023), Current signatories. [15]
- Cirplus (2023), Procure Recycled Plastics Online, <https://www.cirplus.com/en>. [74]

- City of Espoo (2013), Sustainable forms of transport, [82]
<https://static.espoo.fi/cdn/ff/OzEHVL5d23AoPr2wGU1zRuRpsGa0vEJdfZq9GJ2U/1630052856/public/2021-08/Py%C3%B6r%C3%A4ilyn%20edist%C3%A4misohjelma%202013-2024%2C%20ei%20saavutettava.pdf>.
- City of Hamburg (2023), Hamburg eco-partnership, [36]
<http://www.hamburg.de/umweltpartnerschaft/>
- City of Hamburg (2023), Shaping a sustainable circular economy together “circular hub nord” starts with companies and actors, [37]
<https://www.hamburg.de/pressearchiv-fhh/17000544/2023-03-22-bukea-kreislaufwirtschaft/>.
- City of Hamburg (2023), Sustainability Report of the City of Hamburg, [40]
<https://www.hamburg.de/bukea/17216566/2023-06-27-bukea-nachhaltigkeitsbericht/>.
- City of Hamburg (2023), What is important about food sharing, [45]
<https://www.hamburg.de/lebensmittel/16188464/foodsharing/>.
- City of Hamburg (2022), Food in reusable food for Hamburg, [35]
<https://www.hamburg.de/einfachmehrweg/15850824/einfachmehrweg/>.
- City of Hamburg (2022), Launch of the “caught” initiative: Working together against food waste, [38]
<https://www.hamburg.de/pressearchiv-fhh/16338090/2022-07-13-bjv-start-der-initiative-aufgefangen/>.
- City of Hamburg (2020), Confident, solidarity-based, sustainable - Shaping Hamburg’s future powerfully, [26]
<https://www.hamburg.de/senatsthemen/koalitionsvertrag/>.
- City of Hamburg (2020), Hamburg Climate Protection Act - HmbKliSchG, [17]
<https://www.landesrecht-hamburg.de/bsha/document/jlr-KlimaSchGHA2020rahmen/part/R>.
- City of Hamburg (2020), Hamburg Climate Protection Law, [25]
<https://www.hamburg.de/klimaschutzgesetz/>.
- City of Hamburg (2018), Hamburg drinks reusable to go, [77]
<https://www.hamburg.de/pressearchiv-fhh/11864700/2018-11-16-bue-mehrweg-to-go/>.
- City of Hamburg (2017), Waste Management Ordinance, [24]
<https://www.hamburg.com/publicservice/info/11927336/>.
- City of Hamburg (2013), Masterplan for Climate Protection in Hamburg, [23]
<https://www.hamburg.de/contentblob/4316146/23474f900f9bf2c0384158f5ee599e03/data/master-plan-for-climate-protection.pdf>.
- City of Hamburg (2011), Hamburg Climate Action Plan 2007-2012. Update 2011-2012, [22]
<https://www.hamburg.de/contentblob/3959638/a794d37d1560dea335eec5febf94eae/data/download-update-2011-12-englisch.pdf>.
- City of Hamburg (2009), Recycling-Offensive für den Klimaschutz, [19]
<https://www.hamburg.de/contentblob/1587654/41df82a4395de075587174124aaebe4c/data/recycling-offensive-klimaschutz.pdf>.
- City of Hamburg (2005), Hamburg Waste Disposal Act, [18]
<https://www.landesrecht-hamburg.de/bsha/document/jlr-AbfWGHA2005pG2>.
- City of Paris (2015), Paris Sustainable Food Plan 2015-2020, [98]
<https://cdn.paris.fr/paris/2019/07/24/725249f7bb31e255a00a85dfa98037e6.pdf>.

- City of Turku (2020), Supporting circular food systems through public procurement, [97]
https://www.turku.fi/sites/default/files/atoms/files/circular_turku_-_case_study_5.pdf.
- Difu (2023), Circular City, [43]
<https://difu.de/projekte/kreislaufstadt#:~:text=Mit%20dem%20Projekt%20%E2%80%9EKreislaufstadt%20%E2%80%93%20Chancen,Kreislaufwirtschaftsst%C3%A4dte%20und%20%2Dinitiativen%20eine%20eigene.>
- EC (2022), Cities Cooperating for Circular Economy, [52]
<https://cordis.europa.eu/project/id/689157>.
- EIB (2021), The 15 Circular Steps for Cities – Second Edition, European Investment Bank, [96]
https://www.eib.org/attachments/thematic/circular_economy_15_steps_for_cities_second_edition_en.pdf.
- Ekins, P. et al. (2019), The Circular Economy: What, Why, How and Where, [57]
<https://www.oecd.org/cfe/regionaldevelopment/Ekins-2019-Circular-Economy-What-Why-How-Where.pdf>.
- Ellen MacArthur Foundation (2021), Completing The Picture: How the circular economy tackles climate change, [2]
<https://ellenmacarthurfoundation.org/completing-the-picture>.
- EMF (2013), The circular economy in detail, [8]
<https://archive.ellenmacarthurfoundation.org/explore/the-circular-economy-in-detail>.
- European Commission (2015), Circular Economy – Overview, [7]
<https://ec.europa.eu/eurostat/web/circular-economy>.
- Eurostat (2022), Persons employed in circular economy sectors, [60]
https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/CEI_CIE011/default/table?lang=en.
- Eurostat (2022), Private investment and gross added value related to circular economy sectors, [59]
https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/CEI_CIE012/default/table?lang=en.
- Fab City Hamburg (2022), Fab City Hamburg project, [42]
<https://www.fabcity.hamburg/en/fabcity/association/>.
- Federal Environment Ministry (2023), Fundamentals of the National Circular Economy Strategy (NKWS), [84]
<https://www.bmu.de/en/download/fundamentals-of-the-national-circular-economy-strategy-nkws>.
- Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation, Nuclear Safety and Consumer Protection (2012), Circular Economy and Safeguard the Environmentally Compatible Management of Waste, [83]
<https://www.bmu.de/en/law/circular-economy-and-safeguard-the-environmentally-compatible-management-of-waste>.
- Federal Ministry of Justice (2012), Law to promote the circular economy and ensure the environmentally friendly management of waste (Circular Economy Act - KrWG), [20]
<https://www.gesetze-im-internet.de/krwg/KrWG.pdf>.
- Federal Ministry of Justice (1994), Act on the Promotion of the Circular Economy and ensuring the environmentally sound Disposal of Waste, [21]
<https://www.gesetze-im-internet.de/krwg/>.
- German Retail Association (2022), Packaging and reusable packaging, [79]
<https://www.hde-klimaschutzoffensive.de/de/infothek/verpackung-und-mehrweg>.
- Glasgow Chamber of Commerce (2017), [90]
<https://www.glasgowchamberofcommerce.com/projects/circular-glasgow/>.

- Government of Spain (2020), Spanish Circular Economy Strategy, [11]
<https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/economia-circular/estrategia/>.
- Hamburg City (2017), Commercial Waste Ordinance, [29]
<http://www.hamburg.de/contentblob/9164258/da4a0f1daf4673becd5f02b4c2e90c15/da/ta/d-gewabfv.pdf>.
- Hamburg City (2023), Port Development Plan 2040, <https://hafen2040.hamburg/>. [41]
- Hamburg City (2023), Repairing instead of throwing away, [80]
<https://www.hamburg.de/stadtleben/4601214/repair-cafes-hamburg/>.
- Hamburg City (2022), Save costs, protect resources, avoid waste, [78]
<https://www.hamburg.de/newsletter-umweltpartnerschaft-2022-12/16750292/hobenkoeoek/>.
- Hamburg City (2019), Horizon 2020 CIRCUIT, [54]
<http://www.hamburg.de/international/horizon/13222650/circuit/>.
- Hamburg City (2016), Horizon 2020 FORCE, [51]
<http://www.hamburg.de/international/horizon/9878642/force/>.
- Hamburg City (2016), Horizon 2020 REPAIR, [55]
<http://www.hamburg.de/international/horizon/9878644/repair/>.
- Hamburg Consumer Advice Centre (2022), Where to put the old clothes?, [44]
<https://www.vzh.de/themen/umwelt-nachhaltigkeit/kleidung-textilien/wohin-den-alten-klamotten>.
- Hamburg Tourism Office (2023), Develop Hamburg’s tourism sustainably, holistically and together, [48]
<https://www.hamburg-tourism.de/das-ist-hamburg/nachhaltigkeit-erleben/nachhaltigkeit-in-hamburg/#:~:text=Die%20Hamburg%20Tourismus%20GmbH%20ist,Tourismusentwicklung%20mit%20gutem%20Beispiel%20vorangehen>.
- Hamburg Tourism Office (2023), Discover Hamburg in an environmentally conscious and climate-friendly way, [47]
<https://www.hamburg-tourism.de/magazin/10-tipps-fuer-einen-nachhaltigen-hamburg-urlaub/>.
- Hamburg Tourism Office (2023), Green Fashion Tours, [39]
<https://www.hamburg-tourism.de/sehen-erleben/rundfahrten-fuehrungen/stadtfuehrungen/green-fashion-tours/>.
- Hamburg Tourismus (2023), Developing Hamburg’s tourism sustainably, holistically and together, [46]
<https://www.hamburg-tourism.de/das-ist-hamburg/nachhaltigkeit-erleben/nachhaltigkeit-in-hamburg/#:~:text=Die%20Hamburg%20Tourismus%20GmbH%20ist,Tourismusentwicklung%20mit%20gutem%20Beispiel%20vorangehen>.
- HCC (2023), The Innovation and Patents Centre, [95]
<http://www.ihk.de/hamburg/en/produktmarken/innovation/innovation-patents-centre-1147560>.
- Homrich, A. et al. (2018), “The circular economy umbrella: Trends and gaps on integrating pathways”, Journal of Cleaner Production, Vol. 175, pp. 525-543, [5]
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.11.064>.
- IFB Hamburg (2023), PROFI environment and PROFI environment transfer, [50]
<https://www.ifbhh.de/foerderprogramm/profi-umwelt-und-profi-umwelt-transfer>.

- IFB Hamburg (2023), UfR – companies for resource protection, [49]
<https://www.ifbhh.de/foerderprogramm/ufR-unternehmen-fuer-ressourcenschutz>.
- IKS Hamburg (2023), Innovation Contact Service Hamburg, <https://iks-hamburg.de/>. [94]
- Interfacer (2023), INTERFACER: Building the digital infrastructure for Fab Cities, [100]
<http://www.interfacerproject.eu>.
- Interreg Europe (2021), “Hamburg Bottle” – Introducing a closed loop of plastics, [73]
<https://www.interregeurope.eu/good-practices/hamburg-bottle-introducing-a-closed-loop-of-plastics>.
- Irish Manufacturing Research (2020), CIRCULÉIRE – The National Platform for Circular Manufacturing. [68]
- ISO (2021), ISO Technical Committee 323, https://unece.org/sites/default/files/2021-11/2_2_ENG_2021%2011%20ISO%20TC%20323%20presentation_0.pdf. [9]
- IUC (2020), Smart Cities and Blockchain Innovations – IUC Pilot Project Granada Competitive Fund – Webinar 1, <https://www.iuc-asia.eu/2020/10/smart-cities-and-blockchain-innovations-iuc-pilot-project-granada-competitive-fund-webinar-1/>. [93]
- Lahti, T., J. Wincent and V. Parida (2018), “A Definition and Theoretical Review of the Circular Economy, Value Creation, and Sustainable Business Models: Where Are We Now and Where Should Research Move in the Future?”, Sustainability, Vol. 10/8, p. 2799, <https://doi.org/10.3390/su10082799>. [58]
- LWARB (2017), London’s circular economy route map, London Waste and Recycling Board, <https://relondon.gov.uk/wp-content/uploads/2021/02/LWARB-ReLondons-circular-economy-route-map-for-London.pdf>. [88]
- Municipality of Umeå (2019), Tomtebo Beach – A New Neighborhood with People and Sustainability in Focus, <http://www.umea.se/umeakommun/byggaboochmiljo/> (accessed on 28 January 2020). [66]
- National Climate Initiative (2023), New Database: Energy Consultancy for Retailers, <https://www.klimaschutz.de/de/service/meldungen/neue-datenbank-energieberatung-fuer-den-einzelhandel>. [63]
- Network for Sustainable Construction and Real Estate Management in Cold Climates (2013), Umeå. More Sustainable Buildings, http://hallbarahus.se/wp-content/uploads/2019/02/NHB_Broschyr_April_2013.pdf (accessed on 5 March 2020). [65]
- NONOI (2023), For us, upcycling is not a trend, but an attitude, <https://nonoi-studio.de/pages/slow-fashion>. [71]
- North Sweden Cleantech (2019), About Us, <https://northswedencleantech.se/en/about-us/> (accessed on 28 January 2020). [67]
- OECD (2022), Draft - Monitoring progress towards a resource efficient and circular economy, [https://one.oecd.org/document/ENV/EPOC/WPRPW/WPEI\(2022\)2/en/pdf](https://one.oecd.org/document/ENV/EPOC/WPRPW/WPEI(2022)2/en/pdf). [6]
- OECD (2022), OECD Tourism Trends and Policies 2022, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/a8dd3019-en>. [62]
- OECD (2022), The Circular Economy in Ireland, OECD Urban Studies, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/7d25e0bb-en>. [86]
- OECD (2022), Vers une stratégie d’économie circulaire à Montréal, https://www.oecd.org/cfe/cities/Montreal_economie_circulaire.pdf. [99]

- OECD (2021), The Circular Economy in Glasgow, United Kingdom, OECD Urban Studies, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/7717a310-en>. [14]
- OECD (2021), The Circular Economy in Granada, Spain, https://www.oecd-ilibrary.org/urban-rural-and-regional-development/the-circular-economy-in-granada-spain_5f8bd827-en. [76]
- OECD (2020), “COVID-19 and the retail sector: impact and policy responses”, OECD Policy Responses to Coronavirus (COVID-19), OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/371d7599-en>. [61]
- OECD (2020), Decarbonising Urban Mobility with Land Use and Transport Policies: The Case of Auckland, New Zealand, <https://www.oecd.org/publications/decarbonising-urban-mobility-with-land-use-and-transport-policies-the-case-of-auckland-new-zealand-095848a3-en.htm>. [81]
- OECD (2020), OECD - Nordic Innovation webinars on the circular economy in cities and regions, https://www.oecd.org/cfe/regionaldevelopment/highlights-2nd-OECD-roundtable-circular-economy.pdf?_ga=2.65296494.1772013035.1686788605-2032697422.1673952863. [87]
- OECD (2020), The Circular Economy in Cities and Regions: Synthesis Report, OECD Urban Studies, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/10ac6ae4-en>. [10]
- OECD (2020), The Circular Economy in Groningen, the Netherlands, https://www.oecd-ilibrary.org/urban-rural-and-regional-development/the-circular-economy-in-groningen-the-netherlands_e53348d4-en. [91]
- OECD (2020), The Circular Economy in Umeå, Sweden, OECD Urban Studies, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/4ec5dbcd-en>. [13]
- OECD (2020), The Circular Economy in Valladolid, Spain, <https://www.oecd.org/fr/espagne/the-circular-economy-in-valladolid-spain-95b1d56e-en.htm>. [85]
- OECD (2019), Business Models for the Circular Economy: Opportunities and Challenges for Policy, <https://www.oecd.org/environment/business-models-for-the-circular-economy-g2g9dd62-en.htm>. [64]
- OECD (2019), Global Material Resources Outlook to 2060: Economic Drivers and Environmental Consequences, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/9789264307452-en>. [1]
- Recyclehero (2023), Your pick-up service for waste glass, waste, paper, deposit and old clothes, <https://www.recyclehero.de/>. [75]
- REPAiR (2023), PULL Hamburg-Altona & County of Pinneberg (D), <https://h2020repair.eu/case-studies/hamburg-d/>. [56]
- Scottish Government (2016), Making Things Last: A Circular Economy Strategy for Scotland, <https://www.gov.scot/publications/making-things-last-circular-economy-strategy-scotland/pages/4/>. [12]
- Senate Department for Mobility, Transport, Climate Protection and Environment (2023) [16]
- Tallinn Business Incubators (2022), Circular Economy, <https://inkubaator.tallinn.ee/ringmajandus/>. [92]
- Traid (2018), The Impacts of Clothing, https://traid.org.uk/wp-content/uploads/2018/09/impacts_of_clothing_factsheet_23percent.pdf [69]

TUI Cruises (2019), Powerful impetus for the entire cruise sector, [72]
<https://www.tuigroup.com/en-en/media/press-releases/2019/2019-07-18-tc-impetus-for-entire-cruise-sector>.

Valladolid Chamber of Commerce (2019), Masters and Postgraduate Courses 2018-2019, <http://www.escueladenegocio.com/eden/wp-content/uploads/2018/08/Cat%C3%A1logo-Masters-y-Cursos-de-Postgrado-2018-2019.pdf> (accessed on 15 June 2023). [89]

Anmerkungen

- ¹ Die OECD-Umfrage zur Kreislaufwirtschaft in Städten und Regionen wurde im April 2019 gestartet und mehr als 100 Städten aus OECD- und Nicht-OECD-Ländern vorgelegt. Bis Juli 2020 wurden insgesamt 51 Antworten von 47 Städten, 1 regionalen Kreisstadt und 3 Regionen in Europa (38), Nord- und Südamerika (10), Ozeanien (2) und Asien (1) eingereicht.
- ² <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2019/904/oj>
- ³ Die Stadt Hamburg und die Europäische Union finanzieren gemeinsam das Projekt Interfacer, das unter anderem darauf abzielt, digitale Produktpässe (DPP) zur Verfolgung von Materialströmen bereitzustellen (Interfacer, 2023[100]).
- ⁴ Der folgende Abschnitt gibt einen Überblick über die wichtigsten Initiativen, die in der Stadt Hamburg bereits umgesetzt werden. Er basiert auf den Informationen, die in drei Interviews (29. August, 22. September, 17. Oktober 2023) mit Akteuren aus dem Einzelhandel und dem Gastgewerbe gewonnen wurden, sowie auf Recherchen am Schreibtisch.

Herausgeber:

Handelskammer Hamburg | Adolphsplatz 1 | 20457 Hamburg
Postfach 11 14 49 | 20414 Hamburg | Telefon 040 36138-138
Fax 040 36138-270 | service@hk24.de | www.hk24.de

Redaktion:

OECD [Originalautor]
Geschäftsbereich Nachhaltigkeit und Mobilität [Übersetzung etc.]
Simone Ruschmann, Anna Molchanova, Dr. Dirk Lau, Jan-Oliver Siebrand

Grafiken Copyright:

OECD und Handelskammer Hamburg

Dank gebührt der OECD für die Erstellung der Studie. Zudem gebührt dank allen engagierten Unternehmerinnen und Unternehmern sowie allen Beteiligten in den Geschäftsbereichen der Handelskammer Hamburg für ihre Mitwirkung bei der Entstehung dieser Studie.

Handelskammer Hamburg
Geschäftsbereich Nachhaltigkeit und Mobilität

Juni 2024